

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV MATERIÁLOVÝCH VĚD A INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MATERIAL SCIENCE AND ENGINEERING

ENERGETICKÉ ŘETĚZY

ENERGY CHAINS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

PETR ORÍŠEK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. EVA NOVOTNÁ, Ph.D., Paed IGIP

BRNO 2014

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav materiálových věd a inženýrství

Akademický rok: 2013/14

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Petr Oríšek

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Energetické řetězy

v anglickém jazyce:

Energy Chains

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Tématem práce jsou energetické řetězy a materiály, ze kterých se vyrábějí. Zpracování tématu zahrnuje představení nejruznějších typů energetických řetězů, informace o jejich konstrukci, použití a historii. Práce poskytuje obecné informace o materiálech vhodných pro výrobu řetězů a jejich vlastnostech a také prezentuje konkrétní materiály používané v praxi. Prostor je rovněž věnován flexibilním kabelům, pro jejichž uchycení jsou energetické řetězy zkonstruovány, a jejichž vlastnosti jsou neméně důležité.

Cíle bakalářské práce:

Cílem práce je seznámení s energetickými řetězy, materiály pro jejich výrobu, jejich konstrukcí a použitím. Dále vysvětlení důvodů pro jejich zavedení ve strojírenské praxi, popis funkce a představení některých nejpoužívanějších typů energetických řetězů. V závěru práce bude uveden souhrn informací o materiálech pro výrobu energetických řetězů a jejich vlastnostech.

Seznam odborné literatury:

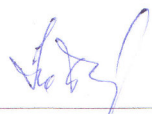
1. Katalogy firem vyrábějících energetické řetězy, např. Hennlich Industrietechnik, spol. s r.o., Litoměřice.
2. <http://www.igus.com>
3. <http://www.kabelschlepp.com/>
4. <http://www.directindustry.com/>
5. další literární a internetové prameny podle potřeby a dostupnosti

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Eva Novotná, Ph.D., Paed IGIP

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2013/14.

V Brně, dne 18.11.2013





prof. Ing. Ivo Dlouhý, CSc.
Ředitel ústavu



prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan

Tímto bych chtěl poděkovat Ing. Evě Novotné, Ph.D., Paed IGIP za odborné vedení, cenné rady a připomínky, které mi pomohly při vypracování této práce.

Dále bych rád poděkoval firmě Hennlich Industrietechnik, která zastupuje firmu Igus v České republice, za poskytnutí informací a literatury, ze které jsem při vypracování své bakalářské práce čerpal.

Prohlašuji, že jsem předloženou bakalářskou práci vypracoval samostatně dle pokynů vedoucí práce a s použitím uvedené literatury.

V Brně dne 20. 5. 2014

Petr Orišek



Abstrakt

Tato práce poukazuje na zásadní význam energetických řetězců ve strojírenské praxi a široký rozsah jejich použití. Zpracování tohoto tématu zahrnuje představení nejrozličnějších typů energetických řetězců, informace o jejich konstrukci, použití a historii. Důraz je kladen na definování vlastností, které musí zvolený materiál mít, aby byly splněny všechny požadavky kladené na energetický řetěz. Práce poskytuje obecné informace o materiálech vhodných pro výrobu řetězců a jejich vlastnostech a prezentuje konkrétní materiály používané v praxi. Dále je část práce věnována flexibilním kabelům, které se do energetických řetězců ukládají a jejich vlastnostem. Výrobou energetických řetězců se po celém světě zabývá několik firem. Práce využívá informace získané od jedné z těchto firem.

Klíčová slova:

Energetické řetězce, Igus, Igumid, polymery, Kabelschlepp, TwisterChain

Abstract

The thesis points to the importance of energy chains in the engineering practice and the wide range of their usage. The elaboration of this topic includes presentation of various types of energy chains, information about their construction, application and history. The emphasis is put on defining the properties that the chosen material must have in order to meet all requirements for energy chain. The thesis provides general information about the materials suitable for production of the chains and their properties and presents concrete materials used in the practice. Furthermore, a part of the work is dedicated to flexible cables which are inserted to the energy chains and their properties. There is a number of companies producing energy chains worldwide. The thesis makes use of the information furnished by one of these companies.

Key words:

Energy chains, Igus, Igumid, polymers, Kabelschlepp, TwisterChain

Obsah:

1 Úvod	3
2 Historie	3
3 Konstrukční údaje a možné aplikace	3
3.1 Základní konstrukční údaje	3
3.2 Výpočet délky energetického řetězu a předpětí.....	4
3.3 Samonosné aplikace – krátké pojezdy.....	5
3.4 Kluzné aplikace – dlouhé pojezdy.....	7
3.5 Vertikální aplikace zavěšené	9
3.6 Vertikální aplikace stojící.....	10
3.7 Boční aplikace	11
3.8 Rotační aplikace	11
4 Druhy energetických řetězů	12
4.1 Základní rozdělení	12
4.2 Energetické řetězy Zipper.....	12
4.3 Energetické řetězy EasyChain	13
4.4 Systém E1	15
4.5 Systém E2	15
4.5.1 E2 micro	16
4.5.2 E2 mini	16
4.5.3 E2/000 medium	17
4.6 Systém E4	18
4.6.1 E4/00.....	18
4.6.2 E4/4.....	19
4.6.3 E4/light	19
4.7 Systém E3	20
4.8 Systém E6.....	21
4.9 Energetické řetězy Triflex	21
4.10 Energetické řetězy TwisterChain.....	23
5 Instalace	24
5.1 Základní pravidla pro vkládání kabelů a hadic do energetických řetězů	24
5.2 Pravidla pro rozdělení kabelů a hadic.....	24
5.3 Další pravidla.....	25
6 Kabely pro energetické řetězy	27
6.1 Nejčastější poruchy kabelů	27
6.2 Výroba kabelů	28
6.3 Základní pravidla pro dobrý kabel.....	29
6.4 Druhy kabelů	30
7 Materiály pro energetické řetězy z obecného hlediska	30
7.1 Požadavky na vlastnosti materiálů	30
7.2 Polymery.....	30
7.2.1 Obecná charakteristika	30
7.2.2 Způsob vzniku	31
7.2.3 Struktura polymerů	31

7.2.4 Vlastnosti polymerů.....	32
8 Konkrétní materiály pro energetické řetězy	33
8.1 Igumid G.....	33
8.2 Igumid NB	34
8.3 Igumid ESD	35
8.4 Igumid TE.....	35
8.5 Igumid HT	35
9 Historie firmy Igus	36
10 Závěr	37
11 Seznam použité literatury	37

1 Úvod

Energetický řetěz je strojní součást navržená pro účely vedení a ochrany ohebných kabelů a hydraulických nebo pneumatických hadic připojených k automaticky se pohybujícím strojním zařízením. Aby tato zařízení mohla vykonávat příslušný pohyb, potřebují přívod energie nebo případně datový spoj. Kabel, který zprostředkovává přenos energie nebo popřípadě dat, by byl bez vedení, které jej chrání a poskytuje mu oporu, velmi rychle poškozen. Energetické řetězy snižují mechanické napětí a opotřebení kabelů, dále brání zamotání kabelů a zvyšují bezpečnost na pracovišti. Normalizované díly umožňují sestavení energetických řetězů různých rozměrů i délek. Energetické řetězy jsou navrženy tak, aby umožňovaly horizontální, vertikální, rotační nebo trojrozměrný pohyb.

2 Historie

Energetické řetězy byly poprvé uvedeny na trh v 50. letech. Vůbec první energetický řetěz byl zkonstruován v roce 1953 Gilbertem Waningerem, vývojářem firmy Waldrich Siegen. Na základě jeho výrobku byla v následujícím roce založena firma Kabelschlepp zabývající se výrobou energetických řetězů určených pro velké frézovací stroje [5]. Tyto první energetické řetězy byly vyráběny z oceli. Od svého vzniku byly energetické řetězy neustále zdokonalovány. Konstruktoři se snažili zlepšit vlastnosti řetězů využíváním nových materiálů. Od roku 1969 se začaly vyrábět řetězy z plastů, které se velice osvědčily. V průběhu 80. let se plasty začaly upřednostňovat před kovy a jako hlavní materiály pro výrobu energetických řetězů se používají dodnes. Přestože se s kovovými energetickými řetězy můžeme ještě setkat i v současnosti, jedná se o poměrně malou část a některé firmy vyrábějí tyto nosiče kabelů výhradně z plastů. První generace řetězů měla do značné míry omezený rozsah použití, a proto se snaha o zdokonalení a rozšíření možností aplikací projevila nepřetržitým vývojem nejrozmanitějších nových druhů řetězů, z nichž každý byl určený pro zcela specifické aplikace, od mohutných značně rozměrných typů až po miniaturní série. Zatímco na začátku sloužili energetické řetězy pouze pro vedení kabelů obráběcích strojů, postupem času začaly pronikat do nových a nových odvětví jako např. doprava, manipulační technika, stavebnictví nebo i medicína. Firma Kabelschlepp se v průběhu let stala nadnárodní společností, která vyrábí energetické řetězy po celém světě. Postupně vznikali další firmy zabývající se výrobou těchto nosičů kabelů. V roce 2007 bylo na trhu více než sedm výrobců energetických řetězů. Mezi tyto výrobce patří firmy FESMA, Murrplastik, Igus, Tsubaki Kabelschlepp, Metreel, M Buttkereit, Gortrac & Cavotec.

3 Konstrukční údaje a možné aplikace

3.1 Základní konstrukční údaje

Energetické řetězy existují v mnoha různých provedeních, přičemž to nejčastější má pravoúhlý průřez a kabely jsou uloženy uvnitř. Vstupní a koncový článek, které se nazývají koncovky, jsou propojeny větším počtem stejných průchozích článků. Tyto články mohou být otevíratelné či neotevíratelné. Možnost články otevřít je velice výhodná, protože umožňuje rychle a jednoduše vkládat či vyndávat kabely ze řetězu. Ve vstupním a koncovém článku jsou umístěny svorky, které umožňují zajištění kabelu.



Obr. 1 Ukázka energetického řetězu [1]

Koncovky mohou být v různém provedení, někdy se vyrábějí z odlišného materiálu než ostatní články a často bývají vybaveny doplňujícími díly, např. odlehčovačem tahu. Energetické řetězy mají jeden konec pevný, nepohyblivý, který je pevně spojen se základní deskou stroje a může být umístěn buď ve středu pojezdu řetězu nebo mimo střed. Druhý konec je volný a vykonává příslušný pohyb. Délka pojezdu řetězu se pro různé typy řetězů velice liší. Může se pohybovat od 1 metru až do několika stovek metrů. Kabely určené pro energetické řetězy mají zvláštní konstrukce, které vyhovují častému pohybu s malým poloměrem ohybu. Oproti běžným kabelům jsou kabely pro energetické řetězy vysoce ohebné, odolné proti zkrutu a proti otěru. Snesou 1 až 3 miliony pohybových cyklů zatímco obyčejné kabely snesou nejvýše 50 tisíc cyklů [1].

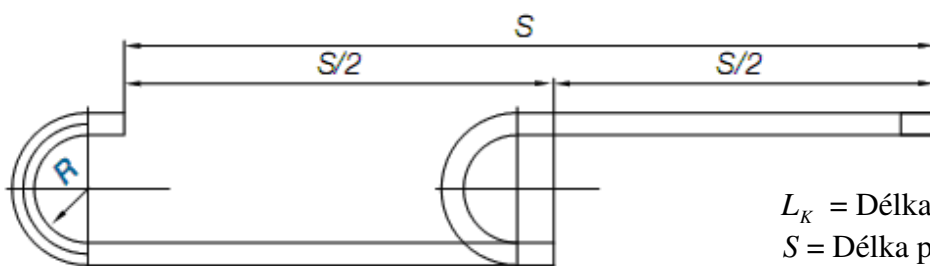
3.2 Výpočet délky energetického řetězu a předpětí

Výpočet délky energetického řetězu [1]

Pokud je pevný konec energetického řetězu umístěn ve středu pojezdové dráhy (obr. 2) [1], vypočte se délka řetězu L_K jako součet poloviny délky pojezdu a potřebného navýšení délky řetězu K , které respektuje poloměr ohybu. Umístění pevného konce do středu pojezdové dráhy je cenově nejpříznivější řešení, protože délka řetězu i vložené náplně jsou nejmenší. Pevný konec ve středu pojezdu představuje optimální řešení.

$$L_K = \frac{S}{2} + K$$

Tento vzorec platí obecně pro všechny aplikace s pevným koncem ve středu pojezdu. Výjimky: rotační pohyby a nejdelší pojezdy.

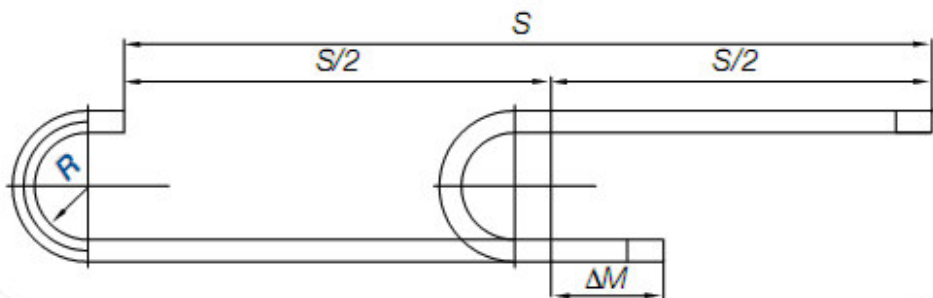


Obr. 2 Energetický řetěz s pevným koncem ve středu pojezdu [1]

- L_K = Délka energetického řetězu
- S = Délka pojezdu
- R = Poloměr ohybu
- ΔM = Vzdálenost napájecího bodu od středu pojezdu
- $K = \pi \cdot R +$ „nutná rezerva“ navýšení délky řetězu závislé na poloměru ohybu
- H = Nominální světlá výška
- H_F = Požadovaná světlá výška

$$L_K = \frac{S}{2} + \Delta M + K$$

Tento vzorec platí, pokud je pevný konec mimo střed pojezdu.



Obr. 3 Energetický řetěz s pevným koncem mimo střed pojezdu [1]

Výpočet délky energetické řetězu je základním krokem při návrhu systémů energetických řetězů.

Předpětí

Předpětí způsobuje vyboulení horní větve řetězu a tím i navýšení jeho zástavbové výšky. Všechny energetické řetězy jsou standardně vyráběny s předpětím, energetické řetězy bez předpětí jsou vyráběny na vyžádání. Předpětí umožňuje prodloužení samonosné délky a zvyšuje životnost a bezpečnost provozu. U každého typu řetězu lze nalézt informaci o parametru H_F , který udává nezbytnou světlovou výšku zástavbového prostoru včetně rezervy pro předpětí.

3.3 Samonosné aplikace – krátké pojezdy

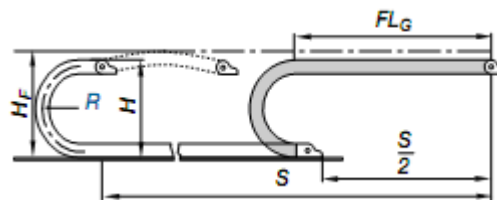
Pokud horní větev energetického řetězu pracuje po celé délce pojezdu bez dotyku se spodní větví, nazýváme toto aplikaci samonosnou. Samonosná aplikace je nejčastější aplikací energetického řetězu, která zaručuje vysokou dynamiku a dlouhou životnost energetického řetězu.

Samonosná délka

Vzdálenost mezi pohyblivým koncem a počátkem ohybu řetězu se nazývá „samonosná“ délka. Samonosná délka energetického řetězu je vždy závislá na jeho typu a hmotnosti náplně. Maximální samonosná délka je závislá na hmotnosti vložených kabelů či hadic a typu energetického řetězu. Rozlišujeme tři typy samonosných délek:

1) Samonosná délka bez průhybu horní větve

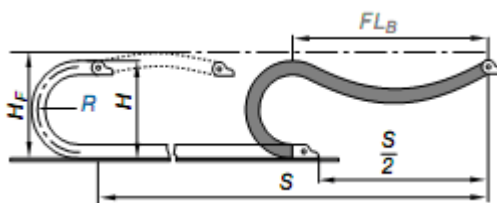
Pro samonosnou délku bez průhybu (obr. 4a) [1] platí, že horní větev je buď vydutá, přímá nebo má průhyb maximálně 10 – 50 mm, podle typu a velikosti řetězu. Použití samonosného energetického řetězu s přímou horní větví je tou nejlepší volbou. Energetické řetězy pracují tiše a nejsou vystaveny dodatečným vibracím. Samonosná aplikace bez průhybu horní větve vykazuje dlouhodobě nejvyšší životnost a může být provozována při nejvyšších rychlostech a zrychleních. Samonosná délka bez průhybu může být pomocí podpěr prodloužena až o 50% u horní větve a až o 100% u spodní větve.



Obr. 4a Samonosná délka bez průhybu horní větve [1]

2) Samonosná délka s povoleným průhybem horní větve

Pro energetické řetězy s povoleným samonosným průhybem (obr. 4b) [1] platí, že průhyb je větší než 10 – 50 mm. Maximální průhyb je závislý na typu řetězu. Ve většině případů je použití samonosné aplikace s povoleným průhybem možné. Může však být problematické při velkém zrychlení pojezdu a vysokém počtu cyklů.



Obr. 4b Samonosná délka s průhybem horní větve [1]

3) Kritický průhyb

Pokud je průhyb větší než povolený, nazýváme jej kritickým. Aplikaci s kritickým průhybem je třeba se vyhnout, nebo ji použít jen v extrémních případech. Energetický řetěz by nikdy neměl být použit s kritickým průhybem. Některé aplikace mohou po dlouhodobém používání dosáhnout kritického průhybu. Pokud k tomu dojde, měl by být energetický řetěz nebo energetické trubky vyměněny.

Pokud je maximální samonosná délka nedostatečná, lze tento problém řešit následovně:

- Vybrat si větší a stabilnější energetický řetěz
- Podepřít horní větev řetězu v jeho samonosné části přídatnou konstrukcí
- Použít nastavitelný řetěz nebo více řetězů uložených v sobě, proti sobě nebo vedle sebe
- Navrhnout pojezd jako tzv. kluznou aplikaci.

Rychlost, zrychlení a životnost

Pro samonosné aplikace je zrychlení „a“ kritickým parametrem. Vysoké zrychlení může u energetických řetězů způsobit vibrace a snížit životnost. Zvláště nepříznivě působí vysoké zrychlení u samonosných aplikací s průhybem horní větve. Maximální hodnoty zrychlení, rychlosti a životnosti jsou dosahovány pouze u samonosné aplikace s přímou horní větví. Energetické řetězy bez průhybu horní větve mohou snášet i velmi vysoká zatížení. V trvalém provozu může být dosahováno špičkového zrychlení až 784 m/s^2 [1]. Na základě pokračujícího výzkumu a dle praktických zkušeností byly určeny standardní hodnoty životnosti. Testy potvrdily, že tyto standardní hodnoty platí pro všechny energetické řetězy. Velmi důležité je určit, zda bude aplikace samonosná přímá FL_G nebo samonosná s průhybem FL_B .

Standardní hodnoty max. rychlosti a zrychlení [1]

Samonosné aplikace	FL_G	FL_B
v max. [m/s]	10	3
v špičková [m/s]	20	-
a max. [m/s^2]	20	6
a špičkové [m/s^2]	784	-

Nosná plocha

Samonosné aplikace vyžadují pro svůj provoz určitou plochu, po které se bude pohybovat spodní část energetického řetězu. Jak je vidět na obr. 5 [1], je možný široký rozsah uspořádání. Při výběru nosné plochy je třeba dbát na to, aby se v dráze energetického řetězu nehromadily nečistoty a úlomky.



Obr. 5 Jsou možné různé povrchy + vodící žlaby [1]

Samonosná spodní větev

Aplikace energetických řetězů bez podepření spodní větve mají určitá omezení. Hodnota samonosné délky spodní větve FL_U musí být obvykle stanovena testy v laboratořích. Maximální přípustná hodnota FL_U závisí na hmotnosti náplně, zvoleném řetězu, dynamice pojezdu a dalších faktorech, protože různé kombinace těchto parametrů mohou vést k velmi rozdílným výsledkům.

Koncovky

Pro samonosné aplikace jsou doporučeny výkyvné koncovky. Výkyvné koncovky kompenzují předpětí řetězu a mohou tak být snáze namontovány. Zároveň tím snižují namáhání prvního článku řetězu. Výjimka: pokud je zrychlení větší než $20 m/s^2$, nebo pokud je výška řetězu limitována, je lepší použít pevných koncovek, které udrží řetěz na požadované výšce [1].

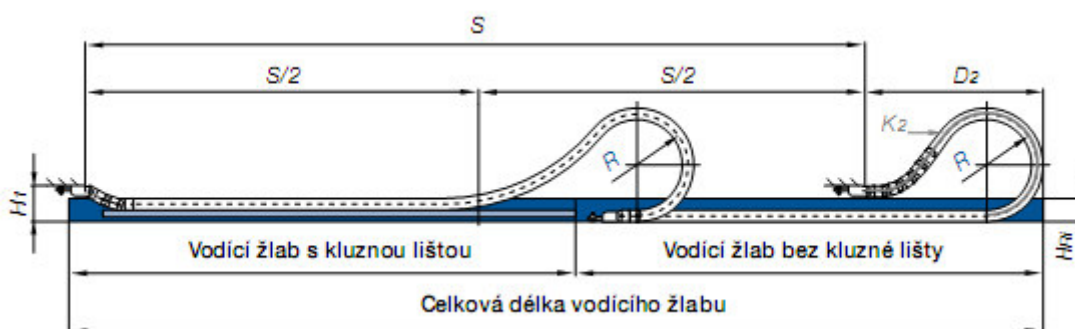
3.4 Kluzné aplikace – dlouhé pojezdy

Pokud horní větev energetického řetězu leží na dolní větvi, jedná se o kluznou aplikaci. Kluzné aplikace mají následující výhody: pojezdy delší než 400 m, kluzné rychlosti až $5 m/s^2$, životnost energetického řetězu delší než 5 let [1]. Další výhody: uvnitř jednoho systému může pracovat mnoho různých typů kabelů a hadic (tj. ovládací, napájecí, datové a optické kabely nebo hydraulické a pneumatické hadice), prostorově úsporné aplikace, tichý chod, vysoká zrychlení, odolnost proti větru a povětrnostním podmínkám, nečistotám a chemikáliím, snadná montáž modulárního systému přímo na místě, rychlá montáž a výměna kabelů a hadic.

Princip kluzných aplikací

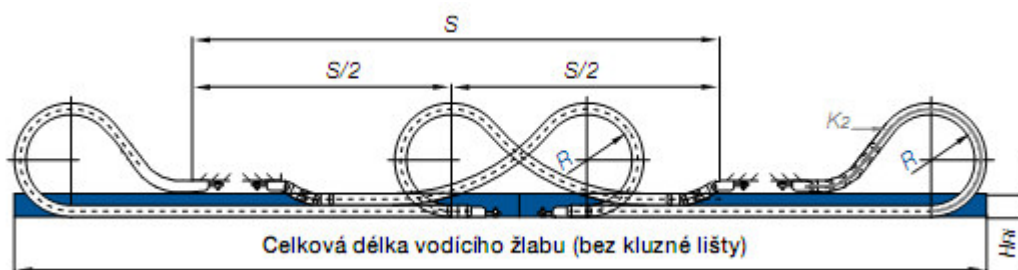
U dlouhých pojezdů leží horní větev řetězu na spodní větvi. Horní větev po spodní větvi a po kluzné liště částečně klouže ve stejné výšce. Tato varianta je zobrazena na obr. 6 a obr. 7 [1]. Pro udržení stability řetězu je nutný vodící žlab. V závislosti na technických parametrech a

zvoleném energetickém řetězu musí být pohyblivý konec energetického řetězu uložen níže, nežli v případě krátkých aplikací.



Obr. 6 Princip kluzné aplikace energetického řetězu, pevný (napájecí) bod je umístěn ve středu pojezdu [1]

- Vodící žlab
- Kluzná lišta



Obr. 7 Kluzná aplikace se dvěma protilehlými řetězy [1]

V případě omezeného zástavbového prostoru nebo velkého zatížení je možné kluznou aplikaci provozovat také se dvěma protilehlými řetězy.

Vodící žlaby

Vodící žlaby jsou využívány u dlouhých pojezdů. Vodící žlaby umožňují při dlouhých pojezdech energetickým řetězům a energetickým trubkám plynulý hladký provoz s nízkým třením. Existují různé systémy vodících žlabů. Obvykle musí být výška vodícího žlabu nejméně dvojnásobkem výšky článku energetického řetězu. Strany žlabu musí mít zkosené hrany. Vnitřní šířka žlabu je dána součtem vnější šířky energetického řetězu a potřebné rezervy 5 mm ($B_{Ri} = Ba + \approx 5$) [1]. Podél strany žlabu, kde horní větev nemůže klouzat po spodní větvi, musí být namontovány kluzné lišty. Vodící žlaby s vodícími lištami i bez jsou dodávány téměř vždy s energetickými řetězy. Při montáži dílů žlabu musí být zvláštní pozornost věnována následujícím požadavkům:

- Všechny části žlabu musí být řádně slícovány.
- Hlavy všech šroubů nesmí přesahovat profil plechu žlabu.
- Přejechod mezi koncem řetězu a kluznou lištou musí být hladký.
- Vodící žlaby musí být pevně přimontovány.

Pojezdové rychlosti a zrychlení [1]

V současné době je možné dosáhnout trvalé pojezdové rychlosti kluzné aplikace až 5 m/s. Například řetězy Igus E4/00 a E4/4 dosahují na zařízeních pro crashtesty rychlosti 22 m/s a zrychlení 784 m/s^2 . (V tomto případě je požadováno pouze několik tisíc cyklů za rok.) Ve

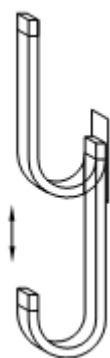
výpočtu hraje významnou roli zrychlení. Musí být rozlišováno mezi normálním provozním zrychlením a náhlým rázovým zrychlením, jako například při neočekávaném zastavení.

Provozní životnost [1]

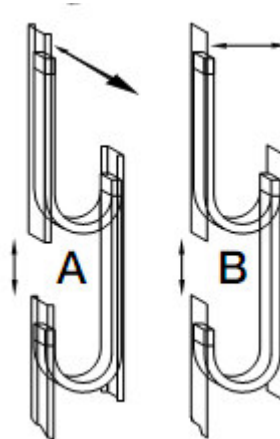
Zařízení s 200 m pojezdem mohou být v provozu 8 let s minimálními nároky na údržbu. Zařízení s pojezdem do 60 m mohou být v provozu 12 let téměř bez jakékoliv údržby. Hledisko dlouhodobé bezúdržbovosti energetických řetězů v náročných podmínkách je často rozhodujícím faktorem pro jejich volbu.

3.5 Vertikální aplikace – zavěšené

Tyto aplikace pracují ve svislém směru. S energetickými řetězy je možné realizovat zavěšené pojezdy až 100 m. Řetězy s vnitřními příčkami dovolují do řetězu umístit mnoho různých typů kabelů a hadic, aniž by se při provozu zamotaly.



Obr. 8a Ve většině případů nevyžadují vertikální zavěšené aplikace boční vedení [1].



Obr. 8b Příčné zrychlení se může vyskytnout ve dvou směrech, v tomto případě je boční vedení nezbytné [1].

Kabely a hadice

Nejdůležitějšími faktory u zavěšených pojezdů jsou uspořádání kabelů a hadic a jejich připevnění na koncích řetězu. Všechny kabely a hadice musí být zavěšeny tak, aby nesly svou vlastní hmotnost. Energetický řetěz je určen pouze pro jejich vedení, nikoliv pro jejich nesení. Pro oddělení různých druhů kabelů a hadic mohou být použity prvky vnitřního dělení. Kabely a hadice musí být na obou koncích energetického řetězu bezpečně upevněny. Odlehčovač tahu musí být navržen tak, aby se nemohl zachytit o protilehlou větev.

Předpětí

Běžný energetický řetěz s předpětím je vhodný pro zavěšené použití v případě, že má dostatek prostoru. V opačném případě - např. u skladovacích systémů s úzkými uličkami - musí být použit energetický řetěz bez předpětí.

Svislý pohyb bez příčného zrychlení

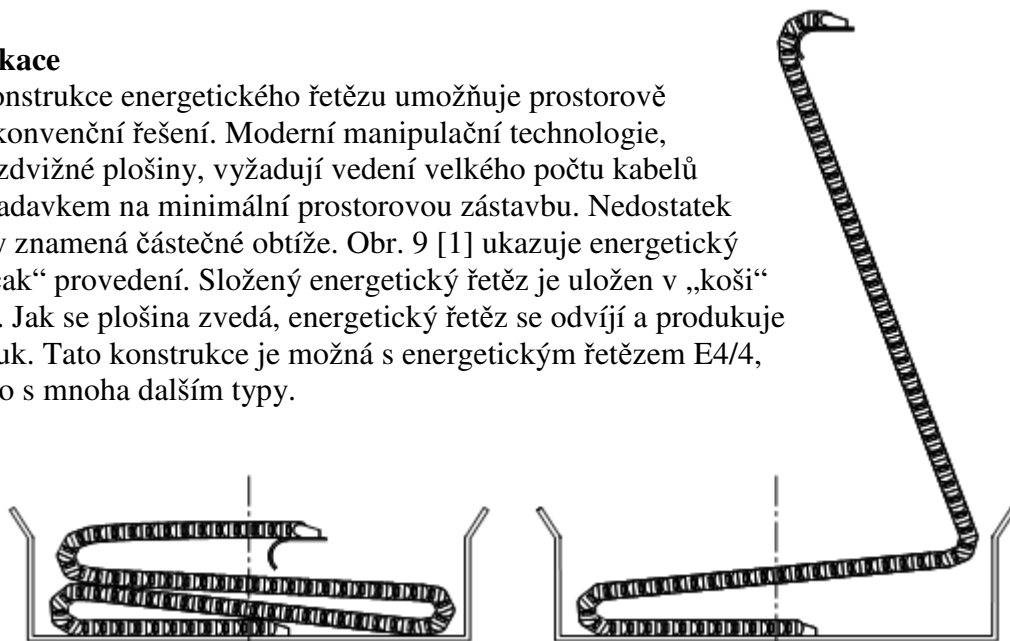
Pokud aplikace pracuje ve svislém pohybu bez příčného zrychlení, lze energetický řetěz instalovat bez boční podpory (obr. 8a) [1]. Pokud jsou zde velká prostorová omezení, musí být použit energetický řetěz bez předpětí.

Svislý pohyb s příčným zrychlením

Pokud se u pojezdu může kromě svislého objevit i příčné zrychlení, musí být ve většině případů použito boční vedení. Na obr. 8b [1] je znázorněn princip takového vedení. Možné je i částečné vedení, to však musí přinejmenším pokrýt oblast, ve které se může energetický řetěz rozhoupat. Příčné zrychlení se může vyskytnout ve dvou směrech. Podle toho také musí být namontováno boční vedení.

Cik-cak aplikace

Modulární konstrukce energetického řetězu umožňuje prostorově úsporná a nekonvenční řešení. Moderní manipulační technologie, např. vysokozdvizné plošiny, vyžadují vedení velkého počtu kabelů a hadic s požadavkem na minimální prostorovou zástavbu. Nedostatek prostoru vždy znamená částečné obtíže. Obr. 9 [1] ukazuje energetický řetěz v „cik-cak“ provedení. Složený energetický řetěz je uložen v „koši“ pod plošinou. Jak se plošina zvedá, energetický řetěz se odvíjí a produkuje minimální hluk. Tato konstrukce je možná s energetickým řetězem E4/4, stejně tak jako s mnoha dalšími typy.



Obr. 9 „Cik-cak“ řešení pro úsporu prostoru - možná výška zdvihu až 20 m [1]

3.6 Vertikální aplikace – stojící

Kabely se musí pohybovat volně a nést svou vlastní hmotnost. Pro větší výšky energetického řetězu je obecně doporučeno, aby nejméně první tři články byly na vnějším poloměru podepřeny. Pro maximální výšky a zdvihy musí být často podepřena celá délka energetického řetězu. Při příčném zrychlení musí být energetický řetěz podepřen v závislosti na směru rychlosti zrychlení.

Koncovky

Koncovky řetězu musí být připevněny tak, aby se energetický řetěz nemohl zvrátit. Pro tyto účely jsou vhodné např. pevné KMA koncovky, protože mohou být připevněny ke stroji ze tří stran.

Příčné zrychlení

Pokud se vyskytne příčné zrychlení, měl by být energetický řetěz na vnějším poloměru podepřen. Pro větší výšky energetického řetězu je obecně doporučeno, aby nejméně první tři články byly na vnějším poloměru podepřeny. Pro maximální výšky a hmotnosti musí být často podepřena celá délka dráhy.

3.7 Boční aplikace

Jedná se o energetické řetězy uložené na boku. Boční aplikace energetických řetězů jsou vhodné především tam, kde je omezena max. zástavbová výška.

Krátké pojezdy s podpěrou a bez podpěry

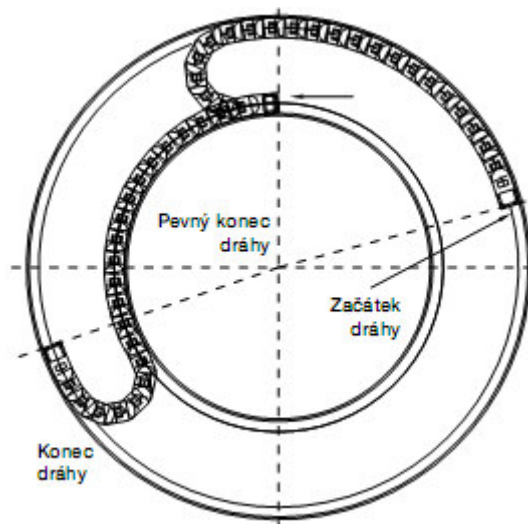
Do určité délky je možné energetické řetězy uložené na boku použít bez přídatné podpěry. Tato délka je závislá na následujících faktorech: hmotnost náplně, šířka energetického řetězu, poloměr ohybu. Samonosná délka klesá přímo úměrně s rostoucí hmotností náplně. Při uložení na boku se šířka energetického řetězu stává výškou. Tato „výška“ je přímo úměrná stabilitě řetězu. Naopak stabilita řetězu roste s klesajícím poloměrem ohybu. Dalším faktorem, který ovlivňuje stabilitu dvou a více řetězů pracujících paralelně, je pohyb v další ose. Pro aplikace s nízkou hmotností nebo krátkou délkou řetězu stačí uchycení řetězu v koncokách. Pokud je však hmotnost náplně vysoká nebo pojezd příliš dlouhý, musí být energetický řetěz buď částečně, nebo po celé délce podepřen.

Dlouhé pojezdy, kluzné [1]

Na boku položené energetické řetězy mohou napájet pojezdy až 100 m, pokud mají odpovídající vedení. Všechny typy energetických řetězů jsou konstruovány pro kluzný provoz na boku. Kluzný povrch vodičích elementů je vyroben převážně z plastu, nerezové a nebo pozinkované oceli, podle požadavků na rychlost a životnost systému.

3.8 Rotační aplikace

Tyto aplikace umožňují rotační pohyb. Základem jsou dva soustředné okruhy (vnitřní a vnější), ke kterým řetěz pevně připojen. Řetěz se může otáčet na vnějším okruhu, ale i na vnitřním. Energetické řetězy jsou většinou vedeny žlabem z pozinkované nebo nerezové oceli. Kluzný povrch může být doplněn plastovou fólií. Poloměry ohybu a výšky řetězu jsou závislé na typu zvoleného energetického řetězu. Pro rotační aplikace jsou vhodné zejména tyto série řetězů: TwisterChain, všechny „RBR“ energetické řetězy, systém E4 a systém E2/000. Řešení s řetězy TwisterChain jsou obzvláště doporučována u prostorově omezených aplikací, jako jsou otočné stoly, kloubové roboty atd. RBR řetězy (obr. 10) [1] mají reverzní poloměr ohybu, což jim umožňuje ohyb ve dvou směrech. RBR provedení je možné realizovat u naprosté většiny energetických řetězů.



Obr. 10 Příklad rotačního pohybu s použitím řetězu v RBR provedení. Zde se řetěz otáčí na vnějším okruhu, může se však otáčet i na vnitřním [1].

Reverzní poloměr energetického řetězu nemusí být nutně stejný jako jeho řádný poloměr. Například řetěz, který má standardní poloměr ohybu 100 mm, může mít reverzní poloměr 425 mm. S energetickými řetězy v RBR provedení je možno realizovat většinu rotačních aplikací s úhlem rotace až 540° [1]. Rotační pohyb lze samozřejmě realizovat i se standardními energetickými řetězy. Tato řešení jsou možná v případech, kde je k dispozici dostatek místa a pokud úhel rotačního pohybu nepřesahuje 450° [1].

Vodící žlaby

V závislosti na dynamice a zatížení aplikace jsou vodící žlaby vyrobeny z oceli nebo nerezové oceli. Pro aplikace s vysokou frekvencí cyklů se navrhuje vodící žlaby s plastovou výstelkou. Energetické řetězy nevyžadují žádné další kluzné prvky pro kontakt s kluznou plochou nebo vodícím žlabem.

4 Druhy energetických řetězů

Existují nejrůznější druhy energetických řetězů, které se od sebe zásadně odlišují. Každá série řetězů byla vytvořena speciálně pro jasně specifikované účely. Způsoby aplikací představené v předchozí kapitole lze realizovat vždy s konkrétním typem resp. typy řetězů. Tato kapitola je věnována představení nejvýznamnějších typů energetických řetězů od firmy Igus.

4.1 Základní přehled

Energetické řetězy Zipper	Energetické řetězy se zipovým otevíráním Rychlé otevírání a zavírání Vnitřní výška h_i [mm]: 9-32
Energetické řetězy Easy Chain Systém E1	Snadné vkládání kabelů Nízká cena Vnitřní výška h_i [mm]: 5 – 48,5
Systém E2 micro, mini Systém E2/000 medium	Otevíratelné a neotevíratelné provedení Vnitřní výška h_i [mm]: 5-45
Systém E4	Otevíratelné z obou stran Vnitřní výška h_i [mm]: 21-204
Systém E3 Systém E6	Nízká hlučnost Čisté prostory Vnitřní výška h_i [mm]: 10-80
Energetické řetězy Triflex Energetické řetězy TwisterChain	3D pojezdy Automatizované aplikace

4.2 Energetické řetězy Zipper

Tento typ energetických řetězů se vyznačuje velmi rychlým a jednoduchým otevíráním a uzavíráním. To je užitečné především z hlediska úspory montážního času. Malá rozteč, pevný

elastický článkový zip a pevné články se výborně uplatňují v aplikacích s extrémním zrychlením. Odnímatelné kryty mohou být odděleny či spojeny v každém článku řetězu. Malá rozteč čepů zajišťuje tichý a hladký chod. Tyto řetězy jsou navrženy pro vysoká zrychlení a to až 100 m/s^2 a více [1]. U větších verzí je možné vnitřní dělení. Pohyblivý konec řetězu je opatřen koncovkou s dírou, zatímco pevný konec je opatřen koncovkou s čepem. Články řetězu Zipper se vyrábí z materiálu Igumid G a kryt je vyroben z Igumidu TE.



Obr. 11a Článek energetického řetězu Zipper [1]

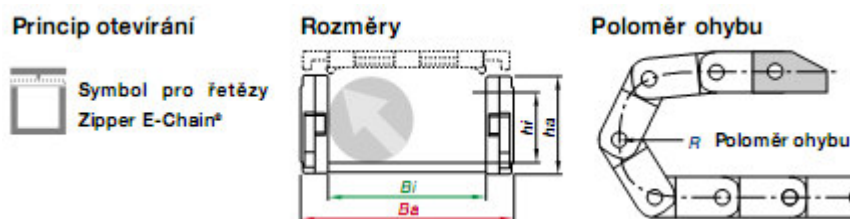


Obr. 11b Princip otevírání [1]

Energetické řetězy Zipper se vyrábějí v následujících sériích:

- Série 047 – minimální rozměry, tichý a hladký chod, vynikající životnost, velmi malá rozteč čepů, nízká hmotnost, nízká cena. Koncovky řetězu jsou jednodílné, plastové, výkyvné.
- Série 07 a 09 – malá velikost, lehké a pevné, integrovaný odlehčovač tahu. Koncovky – jednodílné, plastové, otočné s nebo bez odlehčení tahu upínacími hřebeny.
- Série 15 – standardní velikost, velké čepy a dvojité dorazy pro delší životnost a samonosnou délku.
- Série 17 – velké rozměry, vnitřní dělení s horizontální mezipodlázkou.

Energetické řetězy typu Zipper mají ve strojírenské praxi široké využití. Používají se u automatických vkládacích strojů, polovodičových zařízení, lineárních motorů, manipulačních systémů, jakýchkoliv technických zařízení, měřicích přístrojů a obráběcích strojů.

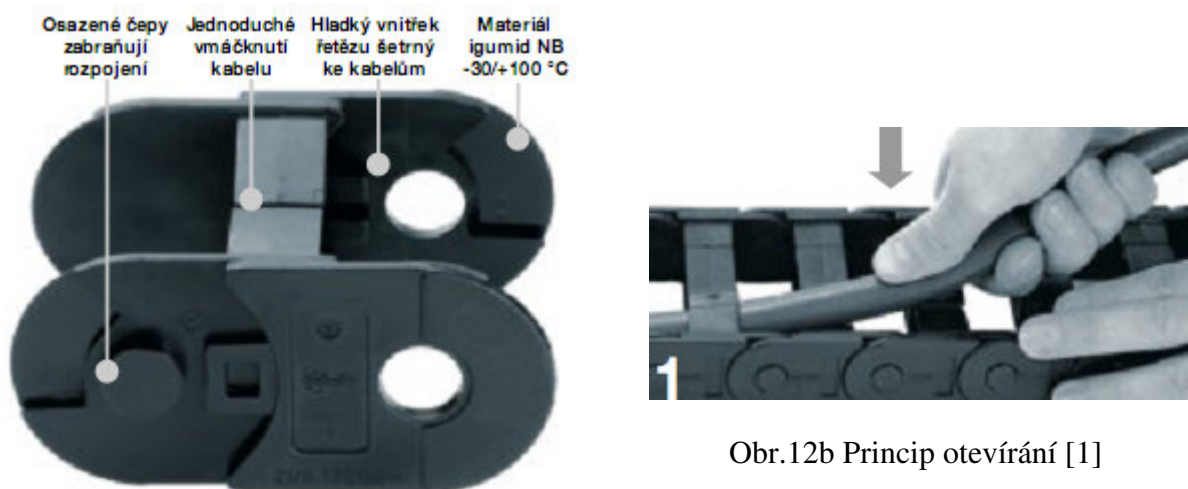


Obr. 11c Základní parametry [1]

4.3 Energetické řetězy Easy Chain

Tato série energetických řetězů je charakteristická snadným plněním a možností rychlého přístupu ke kabelům bez otevírání a zavírání krytů. Montáž a demontáž těchto řetězů je možná kdekoliv. Koncovky jsou opatřeny integrovaným odlehčovačem tahu. Elastický materiál Igumid NB poskytuje další výhodné vlastnosti jako je zvýšená pružnost, nehořlavost třídy UL94-V2 a odolnost povrchu proti nečistotám, což umožňuje provoz i ve velmi čistých prostorech [1]. Řetěz má vysokou torzní odolnost a je možné jej vnitřně dělit. Řetězy jsou

vhodné pro kabelové svazky s nízkou hmotností. Jejich výhodou je mimo jiné i velmi nízká cena. Řetězy Easy Chain existují v provedení s otevíráním na vnějším (E) nebo na vnitřním (Z) poloměru. Pokud je třeba, lze typy E a Z kombinovat. Hlavní nevýhodou těchto řetězů je skutečnost, že je nelze používat pro pojezdy s vysokou zátěží z důvodu nižší pevnosti materiálu [1].



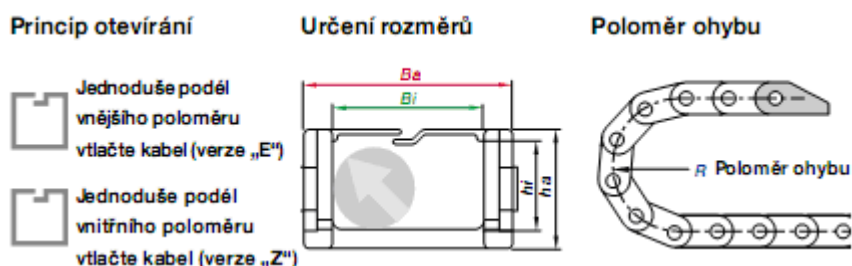
Obr.12b Princip otevírání [1]

Obr. 12a Článek energetického řetězu Easy Chain [1]

Energetické řetězy Easy Chain se vyrábějí v mikro velikosti (série E03, E04 a E/Z045), v malé a střední velikosti (série E/Z06, E/Z08, E/Z14 a E/Z16) nebo s velkými rozměry (E/Z200, E/Z26, E/Z300).

- Série E03 – jedná se o nejmenší energetický řetěz vůbec, jeho vnitřní rozměry jsou pouhých 5×5 mm (šířka×výška). Řetěz má malou rozteč čepů pro tichý a hladký chod.
- Série E04 a E/Z045 – malé rozměry, omezená odolnost vůči krutu, vnitřek řetězu je šetrný ke kabelům.
- Série E/Z06, E/Z08, E/Z14 a E/Z16 – standardní rozměry, tyto řetězy jsou velmi lehké, a proto jsou ideální pro náplň s nízkou hmotností.
- Série E/Z200, E/Z26, E/Z300 – velké rozměry, řetězy existují v provedení s jednou nebo dvěma až třemi komorami.

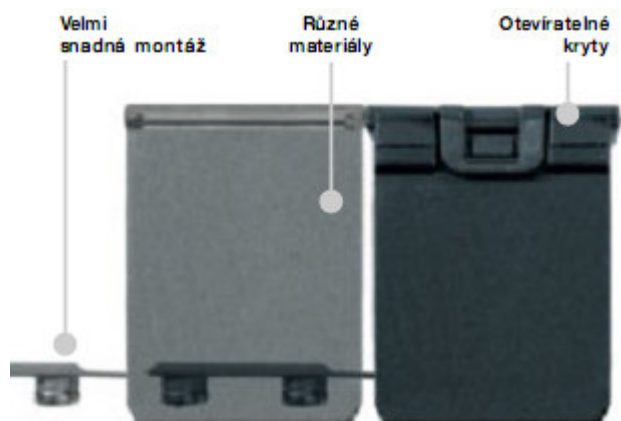
Energetické řetězy Easy Chain se používají ve všeobecném strojírenství, především v čistých prostorách, u elektronických zařízení nebo u prodejních automatů.



Obr. 12c Základní parametry [1]

4.4 Systém E1

Tento typ energetického řetězu má modulární, jednodílnou konstrukci pro jednoduché aplikace. Jedná se o univerzální, snadno přizpůsobitelný energetický řetěz a ekonomické řešení pro velké objemy. Mezi další výhody systému E1 patří snadné zkracování a prodlužování pomocí nalisovaného spojovacího pásku tedy variabilní délka řetězu, jednoduché otevírání, snadné připevnění řetězu díky otvorům v každém článku, možnost různých materiálů, rychlá montáž a v neposlední řadě také příznivá cena. Délka jednoho pásku je 250 mm. Řetězy E1 se vyrábějí z Igumidu G.



Obr.13a Článek řetězu systému E1 [1]

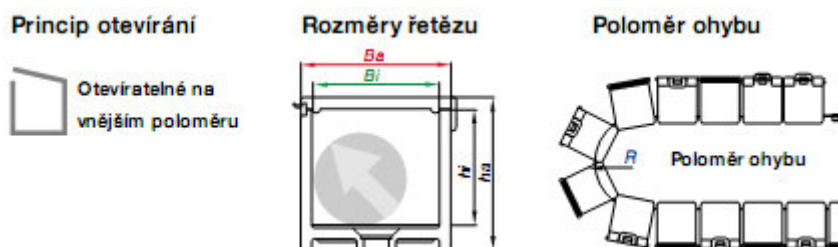
Energetické řetězy E1 se vyrábějí v sériích E1.05, E1.10, E1.15 a E1.20. Jednotlivé série se od sebe liší pouze z hlediska rozměrů. Tyto řetězy se používají především v automobilovém průmyslu, v oborech jako automatizace a elektronika, uplatnění však najdou i v kancelářské technice.



Obr. 13b Ukázka snadného zkrácení [1]



Obr. 13c Ukázka prodloužení [1]



Obr. 13d Základní parametry [1]

4.5 Systém E2

Existují tři varianty systému E2, mezi které patří E2 micro, E2 mini a E2/000 medium.

4.5.1 E2 micro

Jak již název napovídá, tyto řetězy jsou určeny pro práci v malých prostorách. E2 micro jsou velmi malé, jednodílné, lehké energetické řetězy, ideální pro vysoce dynamické aplikace. Energetické řetězy E2 micro nejsou otevíratelné, jsou cenově velmi příznivé a dostupné v mnoha variantách. V mnoha případech je možná úprava na otevíratelnou verzi. V těchto případech jsou tyto řetězy zaměnitelné, čímž umožňují jednodušší údržbu, opravu nebo novou montáž. Tyto řetězy mají hladký vnitřek šetrný ke kabelům. Dále mají velké čepy pro dlouhou životnost s malou roztečí pro hladký chod. Poměr vnitřního a vnějšího rozměru je prostorově úsporný. Použitým materiálem může být Igumid G nebo Igumid ESD.



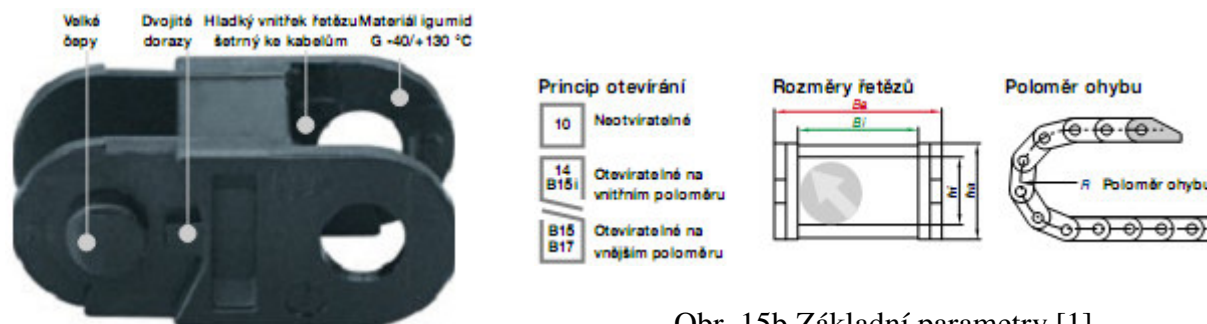
Obr. 14b Základní parametry [1]

Obr. 14a Článek řetězu E2 micro [1]

Tyto řetězy umožňují v omezené míře torzní pohyb, mají nejmenší poloměry ohybu. Jejich součástí jsou plastové jednodílné koncovky s integrovaným odlehčovačem tahu. Vnější povrch řetězů je odolný vůči nečistotám, takže jsou vhodné i pro čistá pracovní prostředí. Řetězy jsou vysoce stabilní, což umožňuje jejich použití také pro stojaté aplikace. Nevýhodou tohoto typu řetězů je jejich neotevíratelnost. Nejčastěji se řetězy E2 micro používají pro stavební strojní zařízení, rozvaděče nebo vozidla. V případě vozidel se používají u posuvných dveří ve vlaku.

4.5.2 E2 mini

E2 mini jsou malé jednodílné nebo dvoudílné energetické řetězy, ideální pro vysoce dynamické aplikace. Ve většině případů se jedná o neotevíratelné řetězy, avšak pro velké množství typů řetězů je možná modifikace na otevíratelné provedení. V těchto případech jsou zaměnitelné a mohou také sloužit jako náhrada. Tyto řetězy mají malou rozteč čepů pro hladký chod a také zdvojené dorazy pro dlouhou životnost. Jsou snadno smontovatelné a mají vyvážený poměr hmotnosti a stability. Jejich vnitřní dělení je variabilní. Řetězy se vyrábějí z materiálu Igumid G nebo také Igumidu ESD.



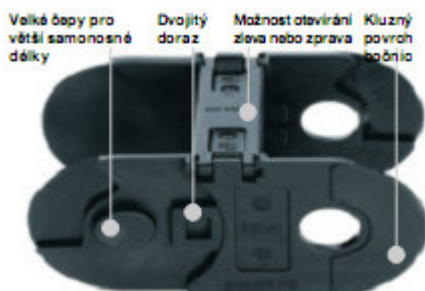
Obr. 15b Základní parametry [1]

Obr. 15a Článek řetězu E2 mini [1]

Řetězy E2 mini mají koncovky s integrovaným odlehčovačem tahu a nečistotám odolný vnější povrch. Jsou nehořlavé dle třídy UL V2 [1]. Řetězy existují také v RBR provedení s reverzním poloměrem ohybu, takže mohou vykonávat také rotační pohyby. Díky vysoké stabilitě řetězů je možné jejich použití pro stojaté aplikace. Jejich nejčastější použití je v automobilovém průmyslu, dále u rozvaděčů a v oboru elektroniky. Určitou nevýhodou systému E2 mini je delší doba montáže v případě neotevíratelného typu řetězu. Pokud je vyžadována rychlá montáž je vhodnější použít řetěz typu Zipper.

4.5.3 E2/000 medium

Energetické řetězy s dvoudílnými články - řady E2/000 jsou již čtvrtou generací této rozměrové řady. Tato série řetězů spojuje několik užitečných vlastností: jednoduchost a univerzálnost je kombinována s vysokou stabilitou a tišším chodem, dlouhá životnost kabelů společně s mnoha možnostmi uchycení. Tento design je společný pro všechny řetězy řady E2/000. Značnou výhodou těchto řetězů oproti sériím E2 micro a E2 mini je, že jsou otevíratelné na vnějším či vnitřním poloměru a to jak z levé, tak z pravé strany. Pro otevření respektive zavření řetězu stačí odklopit respektive sklopit spojovací příčky pomocí šroubováku nebo i ručně. Zámky příček jsou dostupné shora, což je důležité v omezeném prostoru. Spojovací příčky jsou samostatnými díly, které se do řetězu vkládají. Právě tato skutečnost umožňuje otevírání zprava i zleva. Příčky mohou být odklopeny o více než 180° na obou stranách (obr. 17) [1]. Řetězy E2/000 mají vynikající stabilitu a dlouhou životnost díky konstrukci a materiálu, kterým je Igumid G. Některé typy těchto řetězů se vyrábějí z Igumidu ESD.



Obr. 16b Základní parametry [1]

Obr. 16a Článek řetězu E2/000 [1]

Systém řetězů E2/000 má široké použití ve strojírenské praxi. Velký význam mají především pro manipulační techniku. Používají se pro speciální skladovací systémy. S těmito řetězy je možné realizovat jak zavěšené, tak boční aplikace. Jsou rovněž vhodné pro aplikace s dlouhými jezdy.



Obr. 17 Speciální mechanismus otevírání, který umožňuje volitelně otevřít řetěz zprava nebo zleva. Příčky jsou samostatnými díly a jsou do řetězu namontovány [1].

Řetězy se dále používají při výrobě polovodičů, u stavebních strojních zařízení, v jevištní technice, v automobilovém průmyslu, v prostorách s nebezpečím výbuchu a mnoha dalších oblastech strojírenství.

4.6 Systém E4

Jedná se o čtyřdílné energetické řetězy, které jsou modulární a robustní. Vyznačují se otevíratelností z obou stran, což zkracuje dobu montáže. Jsou vhodné pro krátké i dlouhé pojezdy. Mají velkou rozmanitost vnitřního členění, které může být realizováno pomocí vertikálních dělicích příček s otvory nebo bez nich, bočními díly nebo mezipodlážkami. Koncovky řetězů existují rovněž v několika variantách. Jsou to např. KMA koncovky s možností připojení na všech stranách, výkyvné KMA koncovky s nebo bez C profilu, pevné KMA koncovky s nebo bez C profilu a ocelové koncovky. Jejich chod je velmi tichý a použití je všestranné. Jsou vhodné mimo jiné pro cik-cak aplikace. S těmito řetězy lze rovněž realizovat boční aplikace jak samonosné, tak i podepřené. Vnitřní prostor řetězů je zaoblený a dokonale hladký, díky čemuž je velice šetrný ke kabelům a hadicím. Jsou vhodné pro jakékoliv pracovní prostředí. Tato série řetězů je každoročně inovována. Systém E4 existuje ve třech provedeních, kterými jsou standardní systém E4/00, systém E4/4 a systém E4/light.

4.6.1 Standardní systém E4/00

E4/00 (čteno: E4 sta) je jako nejuniverzálnější z celé řady energetických řetězů E4 bezpečným řešením pro většinu aplikací. Konstrukce tohoto systému, kdy je řetěz tvořen vnitřními a vnějšími články, umožňuje velice jednoduchou montáž a demontáž přímo na místě. Speciální konstrukce znatelně redukuje hlučnost řetězu, která je nejnižší ve své třídě. Robustní články řetězu tlumí vnější vibrace působící na řetěz. Jako standardní řetěz s nejširším spektrem aplikací může být systém E4/00 použit prakticky kdekoliv. Řetěz má velkou rozmanitost vnitřního členění a široký výběr modulárního příslušenství. Šířky řetězů jsou až do 2000 mm. Řetězy z této série mají vůbec nejvyšší stabilitu ze všech řetězů vyráběných firmou igus. Maximální délka pojezdu řetězu je 200 – 400 m. Kluzné plochy jsou optimalizovány. Použitým materiálem je zde Igumid G. Pro výrobu se však používá i Igumid HT nebo Igumid ESD.

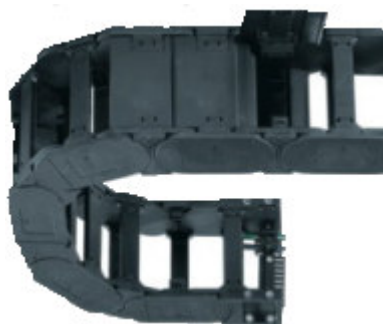


Obr. 18b Základní parametry [1]

Obr. 18a Článek řetězu E4/00 [1]

Řetězy systému E4/00 existují také v provedení s reverzním poloměrem ohybu RBR pro rotační aplikace. Vnější povrch je odolný proti nečistotám. Výhodou těchto řetězů je i to, že jsou navíc opatřeny vnějšími kryty (obr. 19) [1], které jsou samostatnými díly a je nutné je k řetězu přimontovat. Spojovací příčky jsou rovněž samostatné díly a jejich montáž spočívá v zacvaknutí do speciálních zámků.

System E4/00 se nejčastěji používá pro roboty a manipulátory, mrazicí zařízení, stavební strojní zařízení, obráběcí stroje, dřevozpracující stroje, při výrobě polovodičů, v manipulační technice pro manipulaci všeho druhu a pro stroje nejrůznějších typů.

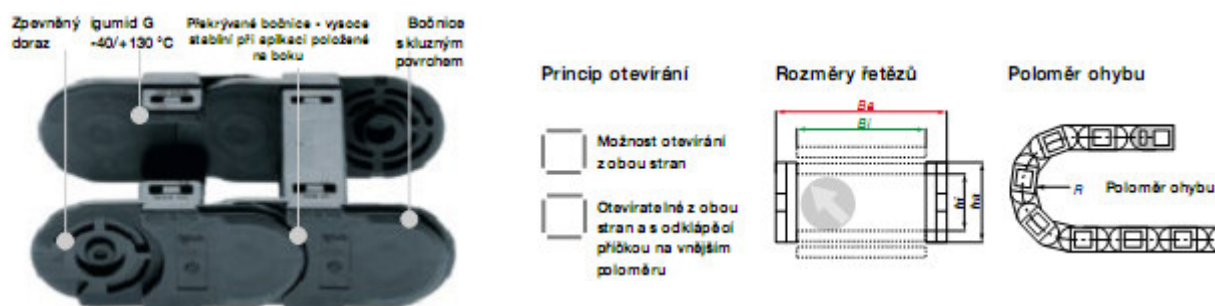


Obr. 19 Ukázka řetězu E4/00 s připojenými kryty. Kryty se přikládají pod úhlem na zámek a jednoduše se přicvaknou [1].

4.6.2 System E4/4

System E4/4 (čteno: E 4 4) byly vyvinuty pro řešení dvou oblastí aplikací: extrémně dlouhé pojezdy a samonosné boční pojezdy. Lze s nimi realizovat pojezdy dlouhé 200 až 800 m. To umožňuje unikátní konstrukce řetězu s překrývanými bočnicemi. Řetězy lze rovněž využít pro vertikální stojící aplikace. Zvýšená pevnost v tahu a tuhost řetězu umožňují vyšší odolnost v náročných podmínkách. Speciální články s rolničkami činí z energetických řetězů systému E4/4 opravdového specialistu pro dlouhé pojezdy. Utěsněná konstrukce s překrývanými čepy je také velmi vhodná pro prostory s nebezpečím výbuchu. Články jsou k sobě navzájem vždy těsně přitisknuty, také jimi může procházet elektrický proud. Řetězy mají celou řadu možností vnitřního dělení a mají velmi vysokou torzní stabilitu. Vyrábějí se z materiálu Igumid G, v některých případech také z materiálů Igumid HT nebo Igumid ESD. K řetězům lze samozřejmě připevňovat kryty pro větší ochranu kabelů. Montáž krytů i spojovacích příček je stejná jako u řetězů série E4/00.

Řetězy E4/4 mají velice širokou oblast použití. Používají se především: u jeřábů (mostové, portálové a mnoho dalších), u kompostovacích zařízení, ve výrobnách sádry a betonu, v chemických závodech, v důlních provozech, v zemědělství, u obráběcích strojů (samonosné bočně uložené aplikace), u stavebních strojních zařízení, v prostorách s nebezpečím výbuchu, v těžkém strojírenství, v ocelárnách, v loděnicích a ve svařovnách.



Obr. 20a Článek řetězu E4/4 [1]

Obr. 20b Základní parametry [1]

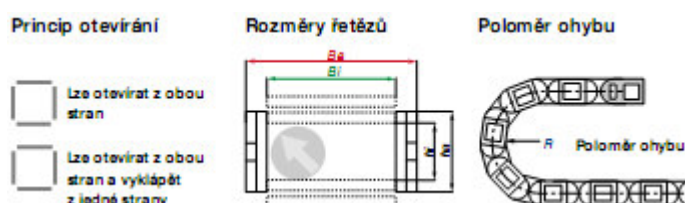
4.6.3 System E4/light

Jak již název napovídá tyto řetězy se vyznačují nízkou hmotností. Mají optimální poměr mezi vnitřními a vnějšími rozměry. Řetězy mají dva základní parametry: redukovaná tloušťka

bočnic článků (pro všechny typy) a tenčí příčky (pro některé typy: 142, 143, 1640). Redukce hmotnosti, větší vnitřní prostor a nižší cena na jedné straně, vedou ke kompromisu v pevnosti řetězu na straně druhé. Energetické řetězy E4/light představují optimální a cenově příznivé řešení pro mnoho aplikací. Speciálně pro samonosné krátké horizontální pojezdy, zavěšené a krátké stojaté konstrukce. Řetězy mají velkou rozmanitost vnitřního dělení a široký výběr modulárního příslušenství. Systém E4/light je navržen pro kratší pojezdy s menší zátěží. Maximální délka pojezdu je 150 – 250 m. Řetězy mohou být v provedení s kryty nebo bez krytů. Kryty a spojovací příčky jsou stejně jako v předchozích případech samostatnými díly a je nutné je k řetězu přimontovat. Řetězy jsou velmi dobré pro cik-cak aplikace. Vyrábějí se také v RBR provedení s reverzním poloměrem ohybu, což umožňuje rotační pojezdy. Řetězy E4/light se vyrábějí z materiálu Igumid G, Igumidu HT nebo Igumidu ESD.



Obr. 21a Článek řetězu E4/light [1]

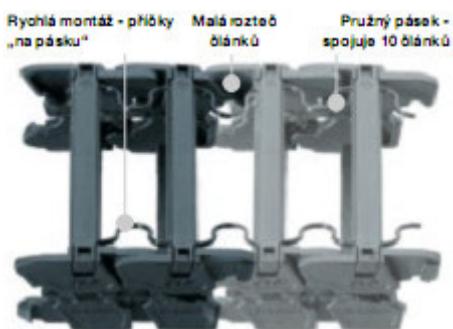


Obr. 21b Základní parametry [1]

Systém E4/light se nejčastěji používá: v automobilovém průmyslu, pro manipulaci s materiálem, ve všeobecném strojírenství, u obráběcích strojů, u drtičů kamenů, u dřevozpracujících zařízení, u stavebních strojních zařízení a pro aplikace s omezenou délkou pojezdu.

4.7 Systém E3

Délky cyklů v automaticce se zkracují, zatímco nároky na snížení hlučnosti a vibrací rostou. Těmto požadavkům plně vyhovují řetězy systému E3. Jedná se o supertiché energetické řetězy pro omezené prostory. Tyto třídičné energetické řetězy pro vysoce dynamické aplikace se vyznačují především tím, že klasické čepy jsou zde nahrazeny pružným spojovacím páskem. Pružný pásek jako spojovací prvek vylučuje tření mezi články. Díky tomu prakticky nepodléhá opotřebení. Pro snížení výrobních a montážních nákladů není pružný pásek montován v kuse, ale v délce pro deset článků. Upravený pružný prvek vyrobený z elektricky vodivého materiálu, který články spojuje jak mechanicky tak elektricky, trvale zaručuje konstantní elektrickou vodivost, dokonce i při vysokém ohybovém namáhání a v každé poloze.



Obr. 22a Článek řetězu systému E3 [1]

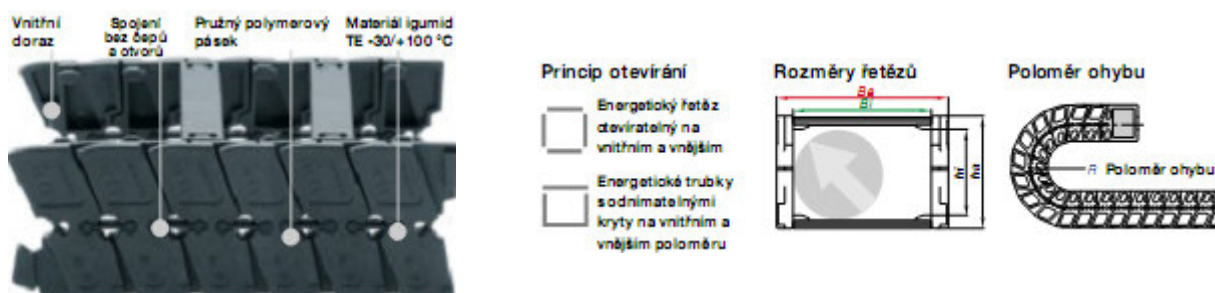


Obr. 22b Základní parametry [1]

Dále je splněn požadavek absolutní spolehlivosti (pro prostory s nebezpečím výbuchu). Díky tomu, že jsou příčky spojeny na pásku a jedná se tedy o zipové otevírání je možná rychlá a jednoduchá montáž. Řetězy mají dobrou samonosnou délku a to díky pevným, do sebe zapadajícím bočním článkům. Jsou vhodné také pro ploché kabely. Řetězy lze snadno zkracovat a prodlužovat. Systém E3 je kombinací hladkého chodu, nízké hlučnosti, stability, snadné montáže a cenové příznivosti. Mezi příslušenství řetězu patří dělicí příčky, integrované odlehčovače tahu a koncovky. Řetězy se vyrábí z materiálu Igumid G nebo z Igumidu TE. Řetězy systému E3 se používají v optice, u manipulačních robotů, pro aplikace, kde jsou použity mikro řetězy, pro další aplikace pro manipulaci s materiálem, při výrobě a manipulaci s polovodiči, v čistých prostorech.

4.8 Systém E6

Tento typ řetězu je velmi podobný systému E3. Konstrukce s čepem a dírou je zde opět nahrazena opotřebením odolným spojovacím páskem, který se vyrábí z polymerů. Speciální konstrukce článků řetězu a malá rozteč umožňují systému E6 velmi tichý chod. Jednou z výhod spojovacího pásku je to, že zaručuje dlouhodobou vodivost. Na rozdíl od řetězu série E3 nemá systém E6 zipové otevírání, avšak je otevíratelný na vnitřní i vnější straně. Otevíratelné příčky se na řetěz montují dodatečně. Řetězy jsou určeny pro vysoké rychlosti a zrychlení. Podobně jako řetězy E3 je lze snadno zkracovat a prodlužovat. Řetězy systému E6 jsou charakteristické mimo jiné velkou vnitřní výškou, díky které dokáží pojmout značný objem kabelových svazků. Dále mají rozsáhlý kluzný povrch. Systém E6 se většinou používá bez krytů, je však možné kryty dodatečně připojit a tím zvýšit ochranu kabelů např. proti jemným nečistotám, okujím a dalším nebezpečným vlivům okolního prostředí. Tah může být odlehčen upínacími hřebeny, které jsou součástí příslušenství. Vibrace jsou zde minimální. Řetězy mají různé varianty vnitřního dělení. Většinou jsou používány KMA koncovky s integrovaným odlehčovačem tahu. Systém E6 je vhodný jak pro boční aplikace, tak i pro stojaté aplikace. Řetězy mají vysokou stabilitu a pevnost v tahu, což umožňuje materiál Igumid TE. Pro některé typy se rovněž používá Igumid G nebo Igumid ESD.



Obr.23b Základní parametry [1]

Obr.23a Článek řetězu systému E6 [1]

Energetické řetězy E6 se používají u tiskařských strojů, u obráběcích strojů, ve zdravotním průmyslu, v polovodičovém průmyslu, v elektronickém průmyslu, u měřicích zařízení, u manipulatorů a robotů, v čistých prostorech.

4.9 Energetické řetězy Triflex

Triflex je energetický řetěz pro 3D pohyb. Série Triflex byla vyvinuta za účelem realizace bezpečné dodávky energií u vícerozměrných pojezdů jako kombinace ohebné hadice a

pevného energetického řetězu s definovaným poloměrem. Unikátní modulární provedení umožňuje provádět velmi komplexní pohyby. Například: kombinace jedno, dvou a tříosých článků v jednom řetězu. Řetězy Triflex se uplatní pro aplikace náročné na tahové namáhání, protože mají velmi vysokou pevnost v tahu. Dále se uplatní v místech, kde je vhodnější pravoúhlý profil. Dále jsou vhodné pro samonosné aplikace na boku. Představují spolehlivou ochranu proti nečistotám a šponám. Patrně největší předností řetězů řady Triflex je skutečnost, že můžeme kombinovat různé poloměry ohybu a směry pohybu. Spojení a rozpojení je možné v kterémkoliv článku řetězu. Přírubové nebo úhelníkové koncovky jsou vyrobeny z pozinkované oceli. Řetězy Triflex jsou neotevíratelné s výjimkou sérií 352 a 353. Otevíratelné série však můžeme kombinovat s otevíratelnými vzhledem k možnosti rozpojování a spojování libovolných článků řetězu. Energetické řetězy Triflex představují ekonomické řešení komplexních pojezdů. Dobré vlastnosti řetězu Triflex jsou dosaženy díky materiálu Igumid G.



Obr.24b Základní parametry [1]

Obr. 24a Článek řetězu Triflex [1]

Energetické řetězy Triflex se vyrábějí v těchto sériích:

- Série 332 – pro jednoosý a dvouosý pohyb, tyto řetězy jsou neotevíratelné.
- Série 333 – pro pohyb ve třech osách, tyto řetězy jsou rovněž neotevíratelné
- Série 352 a 353 – tyto série jsou v otevíratelném provedení

Energetické řetězy Triflex se nejčastěji používají u obráběcích strojů, robotů, manipulačních zařízení, u stavebních strojních zařízení, u vozidel, ve strojírenství všeho druhu, ve zdravotnických zařízeních.



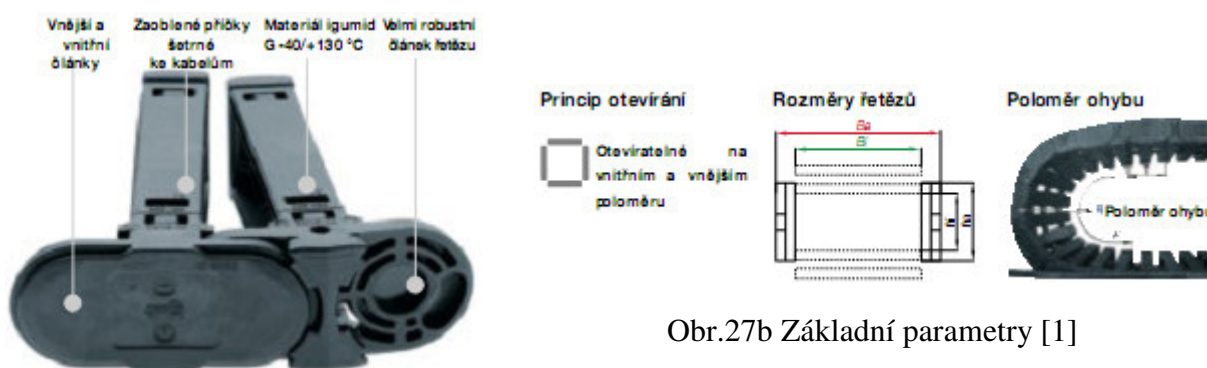
Obr. 25 Ukázka energetického řetězu Triflex [1]



Obr. 26 Použití řetězu Triflex [1]

4.10 Energetické řetězy TwisterChain

Energetické řetězy TwisterChain jsou určeny pro rotační a spirálový pohyb. Jedná se o modulární spirálový energetický řetěz, který dokáže vykonávat kruhové pohyby až do 520° . Řetěz umožňuje rychlou výměnu kabelů a jeho šířka je nastavitelná. Vnitřek řetězu je šetrný ke kabelům stejně jako zaoblené příčky, které jsou otevíratelné z obou stran. Robustní konstrukce článků umožňuje bezpečný provoz i v silně znečištěném prostředí. Řetězy mají variabilní vnitřní dělení. Rotační rychlost řetězu je až 4 m/s. Koncovky jsou vyrobeny z oceli. Vodící žlaby pro tyto řetězy mají následující výhody: vedení řetězu, minimální otěr řetězu, optimální tichý chod a úhel rotace až 360° . Pro výrobu těchto řetězů se používá materiál Igumid G. Energetické řetězy TwisterChain se používají u robotů, v manipulační technice a ve všeobecném strojírenství.



Obr.27b Základní parametry [1]

Obr. 27a Článek řetězu TwisterChain [1]

Montáž systému TwisterChain je následující. Nejprve je potřeba upravit sklon vodícího žlabu na montážní desce. Poté se přišroubuje vodící žlab k základové desce a pevný konec řetězu k vodícímu žlabu. Sklon vodící dráhy se nastaví pomocí distančních vložek, takže horní i dolní větve řetězu jsou po instalaci uloženy proti sobě. Dále se přišroubuje koncovka pevného bodu na montážní desku. Následně je potřeba nainstalovat jednu nebo dvě podpěry horní větve řetězu. Nakonec se nainstaluje pohyblivá koncovka.



Obr. 28a, b Ukázky řetězu TwisterChain [1]

5 Instalace

5.1 Základní pravidla pro vkládání kabelů a hadic do energetických řetězů

Hlavní výhodou energetických řetězů je bezpečné uložení různých datových a napájecích kabelů a hadic v jednom systému. Například je možné dodržet požadované minimální vzdálenosti mezi datovými a silovými kabely nebo hadicemi, stejně tak jako jejich vzájemné promíchání v jedné sekci řetězu. Životnost celého systému je navíc velmi závislá na kvalitě použitých kabelů a hadic a na jejich vzájemném uspořádání. Různé možnosti vnitřního dělení umožňují přizpůsobení energetických řetězů specifickým požadavkům příslušné aplikace. Obecně užívané pravidlo, že vnitřní průřez řetězu by měl být využit maximálně z 80%, již potřebám moderních aplikací zdaleka nevyhovuje [1].

Maximální průměr kabelů a hadic

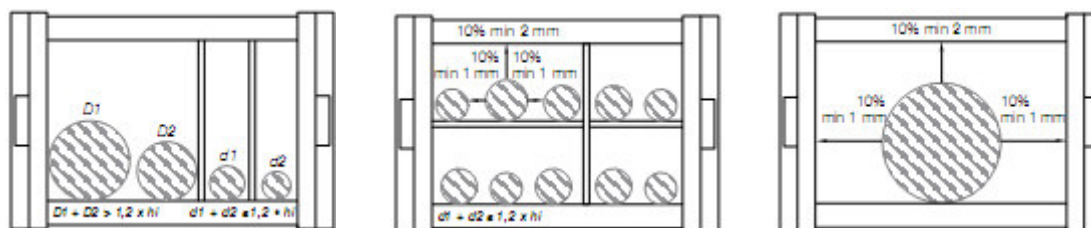
Vnitřní výška řetězu odpovídá součtu maximálního průměru vložených kabelů nebo hadic a plus potřebné rezervy. Ta by měla být 10% pro kulaté elektrické kabely a 20% pro hydraulické hadice. Optimální rozložení náplně je takové, když je vzdálenost mezi jednotlivými prvky minimální, ale zároveň splňuje výše uvedený požadavek. V závislosti na povaze kabelu, dynamice a předpokládané životnosti musí být ponechána větší vůle. V určitých případech se vůle mohou dále měnit.

Vnitřní dělení energetických řetězů

Kabely a hadice velmi odlišných průměrů by měly být uloženy odděleně. Oddělení se provádí pomocí vertikálních dělicích příček nebo horizontálních mezipodlážek. Velká část energetických řetězů vnitřní dělení obsahuje, avšak jsou typy řetězů, které vnitřní dělení nevyžadují, jelikož slouží k vedení velmi malého počtu kabelů (např. 1-2 kabely) a tudíž nehrozí riziko vzájemného opotřebení. Kabely a hadice se nesmí za žádných okolností smotat dohromady. Proto nesmí být světlá výška jedné sekce s kabely podobného průměru větší, nežli jeden a půl násobek jejich průměru.

5.2 Pravidla pro rozdělení kabelů a hadic

Kabely a hadice musí být uloženy tak, aby se mohly za všech okolností volně pohybovat a aby na ně v místě ohybu energetického řetězu nepůsobily žádné tahové síly. Pro vysoké rychlosti a velký počet cyklů nesmí být hadice uloženy na sobě bez vzájemného horizontálního oddělení, jinak by mohlo dojít k jejich poškození. Mezní hodnoty pro tyto situace jsou: Pojezdová rychlost přes 0,5 m/s a počet cyklů za rok větší než 10 000 [1].



Obr. 29 Potřebná rezerva pro kulaté elektrické kabely, $D1$...průměr většího kabelu, $D2$...průměr menšího kabelu, h_i ...vnitřní výška energetického řetězu [1]

Pravidla pro rozdělení náplně [1]

$$D1 + D2 > 1,2 \times h_i$$

Pravidlo 1 - Pokud platí, že $D1 + D2 > 1,2 \times$ vnitřní výška energetického řetězu, není nutné použít dělicí příčky. Dva kabely/hadice by neměli být nikdy položeny na sobě bez oddělení, ani nesmí mít možnost se zamotat.

$$d1 + d2 \pm 1,2 \times h_i$$

Pravidlo 2 - Pokud platí, že $d1 + d2 \pm 1,2 \times$ vnitřní výška energetického řetězu, musí být použita vertikální příčka nebo horizontální mezipodlážka pro snížení vnitřní výšky tak, aby se předešlo zamotání vedle sebe ležících kabelů resp. hadic.

5.3 Další pravidla

Hmotnost kabelů nebo hadic by měla být symetricky rozložena po celé šířce průřezu energetického řetězu. Kabelům a hadicím s různými materiály plášťů nesmí být umožněno se k sobě „přilepit“. Pokud je to nezbytné, je třeba je uložit odděleně. Kabely a hadice by měly vždy být na pohyblivém konci upevněny. Výjimkou mohou být pouze hydraulické nebo vysokotlaké hadice. Obecně platí, že čím rychleji a s čím vyšší frekvencí energetický řetěz pracuje, tím důležitější je přesné umístění kabelů a hadic uvnitř řetězu.

Poloměr ohybu R

Poloměr ohybu energetického řetězu závisí na kabelu či hadici s největším průměrem nebo s největší tuhostí. Poloměr ohybu energetického řetězu by měl být přizpůsoben doporučením výrobce kabelu nebo hadice. Pokud je zvolen větší poloměr ohybu než minimální, pozitivně to ovlivní životnost. Údaj o minimálních poloměrech ohybu je pro kabely a hadice udáván pro použití za normální teploty. Pro jiné podmínky mohou být doporučeny jiné poloměry ohybů.

Okolní vůle pro různé kabely a hadice v % [1]

Elektrické kulaté kabely: 10%

Elektrické ploché kabely: 10%

Pneumatické hadice: 5 -10%

Hydraulické hadice: 20%

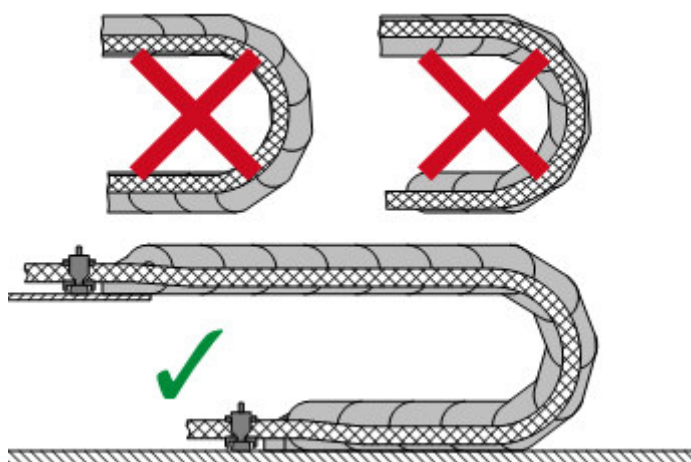
Hadice pro média: 15 - 20%

Kulaté elektrické kabely

Kulaté kabely jsou pro použití v energetických řetězech optimálním a cenově nejvýhodnějším řešením. Pro správnou volbu kabelů je doporučeno sledovat následující kritéria: minimální poloměr ohybu a malou montážní výšku, odlehčovač tahu umístěný přímo do koncovky, jednoduchý montážní postup - žádné zavěšování, ukládání kabelů atd., dlouhou životnost při minimálním poloměru ohybu odpovídající předpokládané životnosti aplikace, odhad doby životnosti pro danou aplikaci (krátký nebo dlouhý pojezd, zavěšení atd.), údaje z reálných testů doby životnosti, flexibilní stínění stíněných kabelů, otěruvzdorné a nepřilnavé pláště, degradace vlastností datových a sběrniceových kabelů vlivem několika milionů ohybů.

Instalace a odlehčení tahu kruhových elektrických kabelů

1. Kabely musí být uloženy rovně, bez zkroucení. Kabely nesmí být odvíjeny z cívky shora.
2. Kabely musí být uloženy tak, aby se každý jednotlivý kabel mohl volně pohybovat ze strany na stranu.
3. Kabely se podél ohybu musí volně pohybovat. Musí být překontrolováno, zda horní větev pracuje s maximálním poloměrem ohybu kabelu.
4. Rozdělení vnitřního prostoru energetického řetězu s použitím mezipodlážek je nezbytné, pokud je uloženo několik kabelů a/nebo hadic s rozdílným průměrem. Je důležité zabránit zamotání hadic a kabelů.
5. Pro kabely a hadice s různými materiály pláštíků je důležité zabránit jejich vzájemnému „přilepení“. Pokud je to nezbytné, měly by být odděleny.
6. Elektrické kabely musí být na obou koncích zajištěny odlehčovači tahu. Ve výjimečných případech mohou být kabely upevněny pomocí odlehčovače tahu pouze na pohyblivém konci energetického řetězu. Pro většinu kabelů je doporučeno, aby vzdálenost mezi jeho upevněním a počátkem ohybu byla rovna min 10 až 30 násobku průměru kabelu [1].



Obr. 30 Kabely a hadice se musí volně ohýbat [1]

Pneumatické hadice

V principu lze pro pneumatické hadice použít stejná pravidla jako pro kulaté kabely. Zkušenosti z praxe dokazují, že pneumatické hadice jsou méně citlivé na opotřebení. Mohou být uloženy i s menší rezervou, nežli avizovaných 10%. Za těchto podmínek je doporučeno oboustranné odlehčení tahu. U pryžových hadic je však 10% rezerva nezbytná, protože by u nich mohlo dojít k jejich vzájemnému přilnutí [1].

Ploché kabely

Ploché kabely se musí podél poloměru ohybu volně pohybovat. Ploché kabely vedle sebe by měly být odděleny příčkami. Pokud jsou ploché kabely uloženy na sobě, je nutné a důrazně doporučené použít horizontální mezipodlážky. Ploché a kruhové kabely by měly být v energetickém řetězu uloženy odděleně. Odlehčovače tahu by měly být použity na obou koncích. Ploché kabely jsou pro použití v energetických řetězech doporučeny pouze výjimečně.

Hydraulické hadice

Při návrhu hydraulických hadic v energetickém řetězu by měla být věnována zvláštní pozornost jejich roztažení po natlakování. Z tohoto důvodu jim musí být ponechán v energetickém řetězu takový prostor, jaký vyžaduje větší vnější průměr hadic po jejich natlakování. U zvolených hadic je důležité, aby měly dostatečnou pružnost (tj. snášely

poloměr ohybu daný energetickým řetězem). U hadic je také důležitá jejich schopnost klouzání a odolnost proti otěru. Všechny příčky a mezipodlážky v energetickém řetězu minimalizují odírání hadic, zaoblených a hladkých povrchů. Obvykle jsou hadice s textilním opletením ohebnější než hadice s opletením z ocelového drátu, mají menší vnější průměr a lepší únavovou pevnost při namáhání při zpětném pohybu. Příčný pohyb hydraulických hadic uvnitř energetického řetězu může vést ke zvýšení opotřebení materiálu hadic, měly by proto být zajištěny na svém místě vertikálními přepážkami, ovšem nikoliv násilně. Speciální dělicí příčky s „aretací“, které sevřou otvíratelné příčky řetězu, stejně tak jako použití vymežovacích dílů, předchází příčnému posuvu dělicích příček. Také zajišťují, že hadice zůstanou na místě i v případě silných vibrací nebo rázů na řetězu.

Odlehčení tahu

Hydraulické hadice jsou během provozu často podélně natahovány. To je třeba při použití odlehčovačů tahu vzít v úvahu. Musí být počítáno s větší délkou hadice, aby se mohla pohybovat při natlakování, nebo je třeba použít „plovoucí“ odlehčovač tahu. V některých případech je možné použít odlehčení tahu jen na jedné straně řetězu. V ideálním případě by kabely či hadice měly mít na koncích energetických řetězů odlehčení tahu. Přinejmenším musí být odlehčení tahu na pohyblivém konci energetického řetězu.

Rollclip

Téměř ve všech případech jsou široké, hladké a zaoblené povrchy všech energetických řetězů a trubek dostatečné pro ochranu hydraulických hadic před opotřebením. V extrémních případech může být do řetězu namontována speciální rolnička. Ta zabrání nadměrnému opotřebením hadice. Mezi extrémní případy patří hlavně měkké materiály, zvláště velké poloměry ohybů nebo vysoká dynamická zatížení. Přes 95 % všech těchto aplikací lze však vyřešit bez této rolničky [1].

6 Kabely pro energetické řetězy

V praxi je důležité především to, aby systém pro přívod energie a dat jednoduše fungoval. To samozřejmě předpokládá bezchybnou funkčnost všech použitých komponent. Vzhledem k narůstající automatizaci a jejím zvyšujícím se nárokům na dynamiku a zatížení mobilních systémů se začátkem 80. let začaly projevovat nedostatky dosud používaných kabelů. Vlivem jejich zkroucení a přerušování žil docházelo k výpadkům, které v krajním případě vedly až k ochromení výroby a následným vysokým ekonomickým ztrátám. Tento problém byl vyřešen zavedením speciálních vysoce flexibilních kabelů určených pro energetické řetězy.

6.1 Nejčastější poruchy kabelů

Přerušování žil

Přerušování měděných drátků žil vlivem tahového přetížení jednotlivých lanek při trvalém ohýbání. Příčinou je nesprávná kombinace počtu a průřezu použitých lanek na jednu žílu, špatný směr splétání nebo velikost stoupání.

Poškození izolace

Porušení izolace žil vedoucí k následnému zkratu. Příčinou může být únava materiálu při trvalém namáhání, otěr jednotlivých žil o sebe nebo průnik přerušovaných měděných lanek izolací.

Zkroucení

Vizuálně snadno rozpoznatelná šroubovitá deformace kabelu vyvolaná jeho trvalým mechanickým zatížením. Příčinou jsou především nevhodné konstrukční vlastnosti a vysoké namáhání kabelu na malém poloměru ohybu.

Otěr pláště

Pláště se otírá až k vnitřní struktuře kabelu nebo ke stínicímu opletu. Příčinou bývá špatně zvolený materiál, špatné umístění kabelu v energetickém řetězu nebo nevhodný způsob extruze pláště.

Vydutí/porušení pláště

Plášť měkne a deformuje se, popř. lze spatřit jeho přerušování až po oplet/stínění. Příčinou může být špatný výběr materiálu v souvislosti s použitými oleji nebo jinými chemickými látkami.

Poškození stínění/problémy s elektromagnetickou kompatibilitou

Ve většině případů je příčinou přerušování drátků stínícího opletu vlivem trvalého mechanického namáhání. To je způsobeno špatným úhlem splétání a jeho řídkostí nebo uvolněním izolační fólie mezi stíněním a žilami.

6.2 Výroba kabelů

Výrobu kabelů lze realizovat dvěma způsoby, splétáním do svazků a splétáním do vrstev.

Splétání do vrstev

Splétání do vrstev je podstatně jednodušší na výrobu než splétání do svazků. Díky této jednoduchosti výroby se prodávají za nízkou cenu a tudíž se mohou jevit jako výhodné řešení. Avšak, co je na první pohled lákavé se může při každodenním používání rychle projevit jako drahá chyba, když zkroucení kabelu ochromí celý systém, který s tímto kabelem pracuje. U této technologie výroby se žíly splétají více či méně pevně do jedné nebo více vrstev kolem jádra kabelu a to s relativně dlouhým stoupáním. Vnější plášť je extrudován ve tvaru zahradní hadice. U stíněných kabelů jsou žíly navíc opleteny textilní či plastovou fólií. V běžném provozu s velkým počtem pracovních cyklů se s kabelem stane následující. Ohýbáním se při pohybu stačují žíly, které leží ve vnitřním poloměru kabelu a natahují se žíly, které se nachází ve vnějším poloměru. Zpočátku vše probíhá poměrně dobře, protože elasticita materiálu je zatím dostatečná. Brzy se však ozve únava materiálu, způsobí trvalou deformaci, žíly přestanou sledovat svou původní dráhu a určí si samy své vlastní zóny stlačování a natahování. Dojde ke zkroucení a přerušování žil většinou následuje krátce poté.

Splétání do svazků

Splétání do svazků je osvědčenou metodou výroby. Od roku 1989 bylo milionkrát nákladně a efektivně testováno [1]. Splétání do svazků odstraňuje problémy zmíněné výše díky své relativně nákladné struktuře s několikanásobným splétáním. Nejprve jsou splétány jednotlivé žíly z měděných lanek s optimální délkou zkrutu. Ty jsou následně splétány do jednotlivých svazků, u velkých průřezů kolem jádra pro odlehčení tahu a nakonec jsou takto vzniklé

svazky splétány kolem centrálního prvku pro odlehčení tahu. Díky této technologii dochází k důkladnému prostřídání všech žil podél celého průřezu kabelu a jednotlivé žíly jsou tedy namáhány rovnoměrně. Pevné jádro navíc dodává celé svazkové struktuře potřebnou stabilitu. Díky tomu zůstává splétaná struktura neporušena i při velkém cyklickém namáhání.

6.3 Základní pravidla pro dobrý kabel

Tahově odlehčený střed

V závislosti na počtu a průřezu žil vzniká při jejich splétání ve středu kabelu prázdný prostor. S ohledem na pevnost kabelu a jeho odolnost proti torznímu namáhání je nutno tento prostor vyplnit slaněným jádrem ze skutečně kvalitního materiálu. To umožňuje udržet pevnou strukturu spletených žil a brání jejich případnému pohybu směrem ke středu kabelu.

Struktura lankových vodičů

Ačkoliv se může zdát, že nejlepším řešením pro flexibilní vodiče je použití velkého počtu velmi tenkých drátků, není toto řešení univerzální. Takto vyrobené vodiče mají totiž velmi často tendenci k zauzlování. Dlouhodobé testy prokázaly, že maximální životnost a flexibilitu žil zajišťuje optimální poměr mezi průměrem jednotlivých drátků a délkou jejich zkrutu [1].

Izolace žil

Materiál izolace jednotlivých žil musí být takový, aby nedocházelo k jejich vzájemnému slepení nebo nadměrnému otěru. Navíc musí poskytovat dostatečnou ochranu slaněným měděným jádrům. Pouze kvalitní a pod velkým tlakem extrudovaná PVC nebo TPE izolace prokázala schopnost vydržet trvalé namáhání v energetických řetězech [1].

Splétání

Jednotlivé žíly musí být splétány kolem zpevňujícího jádra s minimální délkou zkrutu. Od počtu žil 12 a více by měly být žíly splétány nejprve do svazků tak, aby bylo zajištěno jejich optimální prostřídání po celé délce kabelu [1].

Vnitřní plášť

Pouze pevně obepínající vnitřní plášť dokáže udržet pevnou strukturu stíněných kabelů, na rozdíl od laciných textilních nebo umělých fólií omotaných kolem žil. Vnitřní plášť účinně brání vzájemnému pohybu žil a zároveň tvoří dokonalou základnu pro stínící oplet.

Stínění

Stínění kabelu by mělo být co nejhustší a zároveň co nejflexibilnější. Z toho důvodu je nutné, aby oplet byl proveden s minimálním stoupáním na stabilní základně, kterou mu poskytuje vnitřní plášť. Při pravidelném ohýbání kabelu by jinak mohlo dojít k narušení elektromagnetické ochrany nebo přímo ke zkratu mezi stíněním a žilami kabelu. Pevný a hustý oplet navíc přispívá i k torzní odolnosti kabelů.

Vnější plášť

Materiál vnějšího pláště může splňovat nejrůznější specifické požadavky: od odolnosti proti UV záření k flexibilitě při nízkých teplotách, od odolnosti proti olejům k cenové efektivitě. Ať už je však materiál pláště jakýkoliv, musí splňovat následující podmínky: vysokou odolnost proti otěru a netečnost k okolnímu prostředí. Navíc by v každém případě měl být pevně extrudován kolem žil kabelu tak, aby zabránil jejich vzájemnému pohybu.

6.4 Druhy kabelů

V této podkapitole je věnován prostor kabelům od firmy Igus. Kabely vyrobené touto firmou se rozlišují z hlediska funkce na:

- Ovládací kabely, které jsou určeny pro střední zatížení, mají vnější plášť z PVC a retardují oheň. Vodič je jemně slaněný z měděných drátků. Žíly jsou izolovány mechanicky vysoce kvalitní směsí TPE. Pokud je počet vodičů < 12 , žíly se splétají do vrstev s minimálním zkrutem. Pokud je počet vodičů ≥ 12 , jsou žíly spleteny do svazků kolem zpevňujícího jádra s optimálním směrem spletení a minimálním zkrutem, v provedení zvláště odolném torzi. Většinou se používají u aplikací bez výskytu olejů, u vnitřních aplikací, zvláště pro samonosné aplikace, ale i kluzné aplikace až do délky pojezdu 50 metrů. Dále u zpracování dřeva, kamene, v balícím průmyslu, u rozvodných sítí, v manipulační technice atd.
- Datové kabely – do této skupiny patří sběrníkové kabely, snímačové kabely a optické kabely. Jsou vhodné pro velká zatížení, jsou stíněné, mají vnější plášť z PVC, jsou odolné vůči olejům a retardují oheň. Jednotlivé žíly jsou splétány do vrstev s minimálním zkrutem. Nejčastěji se používají u aplikací s mírným výskytem olejů, přednostně u vnitřních, ale i u venkovních aplikací s okolní teplotou nad 5°C , u regálových zakladačů, obráběcích a balících strojů, halových jeřábů atd.
- Servokabely, které jsou vhodné pro velká zatížení, jsou stíněné, odolné vůči olejům a retardují oheň. Napájecí vodiče s ovládacími páry jsou splétány společně se zpevňujícími prvky. Používají se zvláště pro samonosné a kluzné aplikace až do délky pojezdu 100 metrů, dále pro aplikace s mírným výskytem olejů atd.
- Silové kabely – vlastnosti a použití jsou stejné jako u servokabelů. Žíly jsou splétány do vrstev kolem zpevňujícího jádra s minimálním zkrutem.

7 Materiály pro energetické řetězy z obecného hlediska

7.1 Požadavky na vlastnosti materiálů

Na materiály pro výrobu energetických řetězů jsou kladeny tyto požadavky: nízká hmotnost, vysoká pevnost v tahu a krutu i ohybu, schopnost přenášet vysoké tlaky a zatížení, odolnost proti otěru, houževnatost, odolnost vůči velmi vysokým teplotám a stabilní chování při těchto teplotách, nehořlavost, odolnost proti žhavým sponám, rovněž odolnost vůči mrazu, odolnost vůči nečistotám a prachu, korozivzdornost, žáruvzdornost, vysoká rázová pevnost, pokud možno malá tepelná vodivost, elektrická pevnost. Většinu z těchto požadavků splňuje ocel. Avšak nesplňuje požadavek na nízkou hmotnost. Právě proto se svého času začaly hledat alternativní materiály. Nakonec se zjistilo, že z hlediska požadovaných vlastností jsou ideálními materiály polymery.

7.2 Polymery

7.2.1 Obecná charakteristika

Polymery jsou poměrně nové materiály, které se od tradičních materiálů jako jsou kovy nebo keramika odlišují svou molekulární strukturou [3]. Polymery jsou látky, které se skládají z velice velkých molekul zvaných makromolekuly. Tyto makromolekuly jsou složené

z velkého počtu atomů, které jsou vázány pomocí kovalentních vazeb do dlouhých polymerových řetězců. Tyto řetězce jsou schopné se zakrucovat a jen zřídka bývají napnuté na svou plnou délku. Polymerové řetězce jsou tvořeny pravidelně se opakujícími částmi, které se nazývají monomerní jednotky neboli mery. Počet těchto merů je dán polymeračním stupněm. Ten může mít hodnotu 10 až 10^6 [3]. Sloučeniny, které mají nízký polymerační stupeň se nazývají oligomery. Polymery, jejichž molekuly jsou složeny z více než jednoho druhu monomerních jednotek se nazývají kopolymery. Z hlediska struktury mohou být polymerové řetězce lineární, rozvětvené nebo zesítěné [3]. Dle konfigurace mohou být řetězce ataktické, izotaktické nebo syndiotaktické. Prvky vázané v řetězci jsou uhlíky a vodíky, sloučeniny těchto prvků se nazývají uhlovodíky. Charakteristickým znakem polymerů je, že v sobě kombinují vlastnosti materiálů ideálně elastických (kovů) a materiálů ideálně viskozních (kapalin). Říkáme, že jsou viskoelastické.

7.2.2 Způsob vzniku

Syntetické polymery vznikají z nízkomolekulárních sloučenin chemickou reakcí, zvanou polymerace. Polymerace probíhá ve třech fázích. Tyto fáze se nazývají iniciace, propagace a terminace. Ve fázi iniciace dochází k aktivaci monomeru přivedením energie, která je zapotřebí k rozštěpení dvojných či trojných vazeb. Propagace je celá doba, po kterou řetězec lavinovitě roste. Během této doby se uvolňuje reakční teplo, které musí být odváděno. Terminací označujeme ukončení růstu řetězce. Polymerace se rozděluje na polymeraci adiční a kondenzační. Adiční polymerace probíhá opakovaným adičním procesem iniciovaným např. přítomností volných radikálů [2]. Reaktivním místem v molekule monomeru je dvojná vazba. Monomer přitom postupně reaguje s rostoucím radikálem. Při adiční polymeraci nevznikají vedlejší nízkomolekulární látky. Naproti tomu při kondenzační polymeraci chemicky reagují odlišné monomery za vzniku polymerního řetězce a vedlejší nízkomolekulární látky např. H_2O . Podmínkou pro vznik makromolekulárního řetězce je přítomnost nejméně dvou reaktivních skupin v molekule monomeru [2].

7.2.3 Struktura polymerů

Strukturu polymerů lze popsat z hlediska tří úrovní, a to jako strukturu submolekulární, molekulární a nadmolekulární [2].

Submolekulární struktura [2]

Submolekulární struktura se týká opakující se konstituční jednotky polymerního řetězce a představuje v podstatě chemickou strukturu polymeru. Základními charakteristikami jsou druhy atomů a vazeb, rozmístění vazeb, velikost a rozmístění substituentů na uhlíkových atomech. Atomy uvnitř jedné makromolekuly jsou navzájem poutány kovalentními vazbami. Druh kovalentních vazeb ovlivňuje rozhodujícím způsobem nejen mechanickou pevnost, ale i stabilitu polymeru za zvýšených teplot a při působení korozního prostředí. Mezi makromolekulami pak působí o jeden řád slabší sekundární van der Waalovy síly. Tvoří-li molekulu atomy, které mají rozdílnou elektronegativitu, přitahují některé z nich vazebné elektrony poněkud více než druhé a mezi atomy vznikají dipóly. Posuv elektronů, sdílených atomy odlišné elektronegativity, se děje směrem k elektronegativnějším atomu. Atom s větší elektronegativitou získává záporný náboj a druhý atom kladný náboj. Přítomnost dipólů se navenek projevuje polárním charakterem polymeru tehdy, když jsou přítomné dipóly, které jsou navzájem nevykompenzovatelné. Jestliže makromolekuly obsahují pouze dipóly stejného

typu dochází ke vzájemnému vykompenzování dipólů a v určitém místě řetězce se nevytvoří stabilní dipól. Polymer se pak navenek jeví jako nepolární.

Molekulární struktura [2]

Molekulární strukturou se rozumí uspořádání makromolekul z hlediska velikosti a její distribuce, větvení, hustoty sítě a vzájemného uspořádání opakujících se konstitučních jednotek. Délka makromolekul je jednou z nejvýznamnějších molekulárních charakteristik, protože mimo mechanických a fyzikálních vlastností výrazně ovlivňuje zpracovatelské vlastnosti polymerů. Aby polymer dosáhl požadovaných fyzikálních a mechanických vlastností, musí polymerační reakce monomeru proběhnout tak, aby molekuly získaly určitou minimální velikost. Velikost makromolekul se kvantitativně vyjadřuje tak, jako u nízkomolekulárních látek, molární hmotností. Polymery však nemají na rozdíl od nízkomolekulárních sloučenin jednotnou velikost molekul, tedy ani molární hmotnost. Podle podmínek při polymeraci může mít vzniklý polymer různé poměrné zastoupení molekul dané velikosti. Materiály, které mají vysoký obsah nízkomolekulárního podílu jsou dobře zpracovatelné z taveniny, mají však nízké hodnoty vrubové houževnatosti. Polymery s jednotnější velikostí molekul se vyznačují i jednotnějšími fyzikálními a mechanickými vlastnostmi. Naopak materiály s relativně vysokým obsahem vysokomolekulárního podílu jsou obtížněji zpracovatelné, protože mají vysokou viskozitu taveniny. Některé nelze ani zpracovávat vstřikováním a musí se slinovat z prášku. Mají však velmi dobrou odolnost proti namáhání rázem.

Nadmolekulární struktura [2]

Nadmolekulární strukturou se rozumí vzájemné uspořádání makromolekul a útvarů vzniklých agregací jejich většího množství. Základními charakteristikami jsou druh elementární krystalové buňky, tloušťka lamelárních krystalů, krystalinita, velikost sférolitů a stupeň orientace. Předpokladem pro to, aby se makromolekulární řetězce mohly vzájemně uspořádat do vyšších útvarů, je jejich schopnost nabývat různých tvarů. Polymerní řetězce jsou různě tuhé a jejich geometrie se může měnit v závislosti na struktuře opakujících se konstitučních jednotek a na pravidelnosti jejich uspořádání v makromolekule. Pozice, které jednotlivé části molekul, tzv. segmenty, zaujímají se nazývají konfigurace. Makromolekuly mají snahu zaujmout polohy, které odpovídají minimální volné energii systému. Nejpravděpodobnější je proto konfigurace zcela nahodilého klubka. Působením vnějších sil a tepelné energie se polohy skupin atomů mění, molekulární řetězce zaujímají nové pozice. Různých konfigurací nabývají řetězce rotací okolo jednoduchých vazeb. Tyto rotace však nejsou u různých polymerů stejně snadné. Velmi důležitou roli přitom hrají substituenty, tj. atomy nebo skupiny atomů vázané na atomy uhlíku nebo jiných prvků tvořících páteř řetězce, okolo jejichž jednoduchých vazeb se rotace uskutečňuje. U geometricky jednoduchých konstitučních jednotek může být segment makromolekuly tvořen dvěma sousedními atomy uhlíku, jsou-li poutány jednoduchou kovalentní vazbou. Naproti tomu u polymerů, které mají v páteři řetězce jiné atomy než uhlík, může být délka molekulárního segmentu mnohem delší. Rotace kolem jednoduchých vazeb jsou stíženy, jestliže atomy v páteři řetězce nesou objemné skupiny atomů jako např. CH_3 u PP, benzenové jádro u PS a jiné. Nejobtížněji vznikají rotace v případech, kdy jsou benzenová jádra nebo jiné cykly zabudovány přímo v páteři řetězce, jako např. u PC, PPO apod.

7.2.4 Vlastnosti polymerů

Jak již bylo řečeno polymery mají viskoelastické chování. Platí, že makromolekuly mohou zaujímat různé konfigurace a to v závislosti na působícím napětí, teplotě a čase.

Viskoelastické deformační chování polymerů je zapříčiněno právě konfiguračními změnami v závislosti na čase. K charakterizaci viskoelastického chování slouží reologické modely, které toto chování popisují pomocí jednoduchých zařízení (pružina, hydraulický válec). Velký význam mají především přísady, které do polymerů přidáváme. Pomocí specifických přísad můžeme dosáhnout toho, že plast bude mít širokou škálu nejrůznějších vlastností a tedy i takové, které potřebujeme u energetického řetězu.

8 Konkrétní materiály pro energetické řetězy

V předchozí kapitole byly definovány polymery a jejich vlastnosti z obecného hlediska. V této kapitole jsou představeny konkrétní materiály, které firma Igus používá pro výrobu svých energetických řetězů. Osobně jsem navštívil firmu Hennlich sídlící v Litoměřicích, která zastupuje firmu Igus v České republice. Při této návštěvě jsem získal spoustu zajímavých informací o materiálech vyráběných a používaných firmou Igus a jejich specifických vlastnostech.

8.1 Igumid G

Jedná se o nejpoužívanější materiál firmy Igus. Až na výjimku, kterou tvoří řetězy Easy Chain, jsou z tohoto polymerního materiálu vyráběny všechny energetické řetězy této firmy. Šíře jeho použití je dána především jeho velkým rozsahem zcela unikátních vlastností, díky kterým obstojí v nejrůznějších prostředích. Mezi jeho základní vlastnosti patří: schopnost přenášet vysoké tlaky a trvalé zatížení, odolnost proti otěru, houževnatost a stabilní chování i při extrémních teplotách. Je prověřen nejrůznějšími aplikacemi od chladících boxů po ocelárny. Materiál Igumid G, stejně jako všechny ostatní Igumidy neobsahuje žádné toxiny v souladu s vyhláškou 2002/95/EC [1].

Vliv okolního prostředí na Igumid G

Materiál Igumid G se osvědčil v nejrůznějších a nejnepříznivějších podmínkách okolního prostředí. Zde je výpis všeho proti čemu je odolný:

- Oheň
- Radiace
- Povětrnostní vlivy
- Chlad, extrémní teplo
- Žhavé spony
- Nečistoty, prach
- Chemické látky

Materiál Igumid G je velmi odolný proti silné radiaci. Pod vlivem gama záření v rozsahu 8.10×4 rd se mechanické vlastnosti materiálu Igumid G mění jen velmi málo.

Nehořlavost materiálu Igumid G [1]

Samozhášivé vlastnosti Igumidu G jsou deklarovány následujícími klasifikacemi: Test dle VDE 0304 část 3-5.70 - třída IIc. Test dle UL94 - Standardní test nehořlavosti plastických materiálů v částech strojů a zařízení, třída 94HB pro tloušťku vzorku 3,2 a 1,6 mm. Test dle DIN 4102 - Chování stavebních materiálů a jejich částí při požáru, třída materiálů B-2.

Tepelná odolnost

Materiál Igumid G je velmi vhodný pro venkovní použití. Podle zkušeností tím nejsou mechanické vlastnosti energetického řetězu ovlivněny. Igumid G je také odolný vůči UV záření. Energetické řetězy jsou používány i v aplikacích s teplotou $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$. Při teplotách nižších než $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ mohou nastat potíže při montáži řetězů (křehnutí materiálu). Na druhé straně mohou energetické řetězy Igus pracovat při trvalých teplotách až $130\text{ }^{\circ}\text{C}$. V těchto případech však dochází k částečné redukci životnosti řetězu a změnám jeho mechanických vlastností. Igumid G však není doporučen, pokud by přicházel do kontaktu s velkým množstvím roztaveného hliníku.

Vakuum

Energetické řetězy vyrobené z Igumidu G mohou být použity v aplikacích pracujících ve vakuu, jelikož mají velmi nízkou úroveň uvolňování plynů.

Chemická odolnost

Materiál Igumid G odolává palivům, mazivům, olejům, tukům, alkoholu, esteru, ketonu, alifatickým a aromatickým uhlovodíkům. Oxidační činidla a kyseliny jej poškozují.

Odolnost proti chladicím kapalinám

Z provedených testů vyplývá, že energetické řetězy jsou odolné vůči běžným chladicím kapalinám. Základem Igumidu G je polymer, do kterého jsou přidány speciální přísady, které jsou klíčové pro jeho výjimečné vlastnosti. Bližší informace o těchto přísadách si firma Igus nechává pro sebe.



Obr. 31 Výrobní závod Igus - automatická příprava materiálu Igumid G [1]

8.2 Igumid NB

Tento materiál se používá pouze pro výrobu řetězů Easy Chain. Materiál Igumid NB je samozhášivý a spojuje v sobě podobně unikátní vlastnosti jako Igumid G. Má ale menší hustotu, takže i menší hmotnost. Jeho tvrdost je nižší než u Igumidu G a stejně tak i jeho elektrická pevnost a mez kluzu. Materiál Igumid NB také dlouhodobě nevydrží tak vysoké teploty a pevnost v ohybu je oproti Igumidu G poloviční. Velkou výhodou je fakt, že jeho příprava je jednodušší a méně nákladná. Řetězy vyrobené z Igumidu NB mají následující

klasifikaci samozhášivosti: UL94 klasifikace - V2, VDE 0304 díly 3-5.70 klasifikace - IIb DIN 4102 hořlavost materiálů - B2 [1].

8.3 Igumid ESD

Všude tam, kde se vyskytují prostory s nebezpečím výbuchu (Ex) je nutno používat speciální produkty, které negenerují elektrostatické výboje (ESD). U plastových součástí je tato problematika zvláště citlivá. Proto firma Igus vyvinula speciální energetické řetězy ESD. Tyto jsou vyrobeny z vodivého materiálu Igumid ESD, který vzniklý náboj okamžitě odvádí přes uzemněné koncovky. Materiál Igumid ESD je směsí klasického Igumidu G a speciálních přísad. Tyto přísady zajišťují požadované speciální vlastnosti při zachování nebo dokonce zlepšení mechanických vlastností řetězu. Například hustota řetězu klesne přibližně o 15%, a proto mají tyto řetězy větší samonosnou délku v závislosti na aplikaci. Dokonce i životnost těchto řetězů je delší. Na rozdíl dočasně působící konvenčních řešení (např. použití vodivých povrchových vrstev na řetězu nebo volné přidání antistatik), garantuje tato speciální směs trvale konstantní vodivost. Další výhodou je odolnost proti nepříznivým okolním podmínkám. První verze materiálu pro provoz v prostorách s nebezpečím výbuchu vyvinula firma Igus již v roce 1992 [1]. Tento materiál měl název Igumid GC. Materiál Igumid ESD, který byl poprvé představen v roce 2002 je jeho modifikací [1]. Tento materiál se používá především pro některé typy řetězů ze série E2, E4 nebo E6.

8.4 Igumid TE

Tento materiál se používá jednak pro výrobu krytů řetězů Zipper a dále pro výrobu některých řetězů systému E3 a E6. Materiál Igumid TE nevydrží tak vysokou krátkodobě působící teplotu jako ostatní Igumidy. Na druhou stranu v případě dlouhodobého působení vydrží vyšší teploty než Igumid NB a Igumid ESD. Jeho hlavní předností je, že má ze všech Igumidů nejmenší hustotu a tedy i nejnižší hmotnost. Jeho příprava je poměrně nákladná, řetězy vyrobené z Igumidu TE patří k těm dražším.

8.5 Igumid HT

Jedná se o úplně nový materiál, který byl navržen speciálně za účelem odolávání extrémním teplotám (HT = High Temperature). Materiál Igumid HT vydrží teploty až 850°C [1]. V tomto ohledu vysoce překonává všechny ostatní Igumidy. Tento materiál má poměrně vysokou cenu. Řetězy, které se z něj vyrábějí jsou značně drahé. V současnosti se z tohoto materiálu vyrábějí některé typy řetězů ze série E4, avšak v brzké době by se z něj měly začít vyrábět i jiné série.

Tabulka materiálových údajů [1]

Název veličiny	Jednotka	Hodnoty pro Igumid G	Hodnoty pro Igumid NB	Hodnoty pro Igumid ESD	Hodnoty pro Igumid TE
Mez kluzu	MPa	190/130	78/40	-	-
Prodloužení při přetržení	%	004/006	20/210	-	-
Modul pružnosti (zkouška tahem)	MPa	9000/7000	2900/1200	-	-
Rázová pevnost +23°C	kJ/m^2	55/56/55	bez porušení	-	-
Rázová pevnost -40°C	kJ/m^2	40	90	-	-
Zkouška tvrdosti dle Brinela	MPa	230/160	150/60	-	-
Hustota	g/cm^3	1,37	1,14	1,2	1,02
Absorpce vlhkosti 23/50 RF	%	1,4	3,4	1,9	1,1
Pevnost v ohybu	MPa	240	120	230	-
Tvrdość dle Shořeno D	-	79	79	83	-
Max. dlouhodobě působící teplota	°C	130	80	80	100
Max. krátkodobě působící teplota	°C	180	170	150	130
Minimální teplota použití	°C	-40	-40	-40	-30

Pro Igumid HT zatím firma Igus materiálové údaje neposkytla.

9 Historie firmy Igus

Historie firmy Igus začala 15.10.1964 v dvojgaráži Güntera Blase v Kolíně nad Rýnem – Mülheimu [4]. V prvních dvaceti letech fungovala firma Igus jako dodavatel složitých technických plastových součástí. V roce 1983 začíná s Frankem Blasem soustředění na vlastní produkty - energetické řetězy a kluzná pouzdra - a také vybudování vlastního prodeje. V

letech 1985 až 2013 se zvýšil počet zaměstnanců firmy Igus ze 40 na více než 2150, a to po celém světě. Firma Igus má pobočky ve 30 zemích a partnery v dalších 69 zemích [4]. Každý rok vyvíjí 1500 až 2500 nových produktů. I v dalších letech plánuje firma Igus investovat do svého růstu a do vývoje nových materiálů poskytujících energetickým řetězům další unikátní vlastnosti.

10 Závěr

Cílem této práce bylo seznámení s energetickými řetězy, materiály pro jejich výrobu, jejich konstrukcí a použitím. Rovněž pak objasnění důvodů pro jejich zavedení v praxi, popis jejich funkce a představení některých nejpoužívanějších typů energetických řetězů. Při zpracovávání daného tématu jsem dospěl k následujícím závěrům. Energetické řetězy jsou v současné době nepostradatelnou součástí strojních zařízení v nejrůznějších odvětvích. Díky ochraně, kterou poskytují elektrickým či datovým kabelům se výrazně prodlužuje jejich životnost, stroje mohou nepřerušovaně pracovat a jejich provozovatelé tak ušetří čas i peníze, které by museli investovat do výměny těchto kabelů. Zároveň zaručují bezpečné podmínky pro práci na pracovišti. Energetické řetězy jsou velice různorodé. V průběhu let vznikaly nejrozmanitější varianty jejich provedení pro nejrůznější druhy pohybu a aplikace. Aby mohly energetické řetězy plnit svou užitečnou funkci, musí mít určité specifické vlastnosti. Tyto vlastnosti jim poskytují speciální materiály, ze kterých jsou vyráběny. Při své návštěvě ve firmě Igus jsem měl možnost se s těmito materiály seznámit. Jejich zcela unikátní vlastnosti mě velice zaujaly. Základem těchto materiálů jsou polymery, které v sobě spojují vlastnosti kovů a kapalin. Polymery jsou pro výrobu energetických řetězů vhodnější než oceli, protože lépe splňují požadavky na materiály kladené. Přidáním přísad do polymerů můžeme dosáhnout přesně takových vlastností, které potřebujeme. Tímto způsobem dokázal nejen Igus, ale i jiné firmy vyvinout nové materiály, které posunuly energetické řetězy na novou úroveň. Energetické řetězy se neustále vyvíjejí, rozsah jejich použití roste a tak je jistě čeká perspektivní budoucnost.

11 Seznam použité literatury

- [1] Katalog firmy Hennlich Industrietechnik, spol. s r.o., Litoměřice
- [2] PTÁČEK, L. a kol. *Nauka o materiálu II*. 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2002. ISBN 80-7204-248-3
- [3] SEYMOUR, R. B. *Polymers for engineering applications*. Spojené státy americké: ASM INTERNATIONAL, 1987. ISBN 0-87170-247-9
- [4] <http://www.igus.com>
- [5] <http://www.kabelschlepp.com>
- [6] Informace sdělené ústně od zaměstnanců firmy Igus